

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO E INGENIERA AMBIENTALES**

**TEMA:
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVOS, PARA LA PARROQUIA DE
SAN JOSÉ DE AYORA, CAYAMBE**

**AUTORES:
RICHARD ALEXIS ARRIETA GOYES
KATHERINE ARLEM CHICA SANTOS**

TUTOR: RENATO GABRIEL SÁNCHEZ PROAÑO

Quito, julio de 2019

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Richard Alexis Arrieta Goyes con documento de identificación N° 1722504949 y Katherine Arlem Chica Santos, con documento de identificación N° 1715472963, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVOS, PARA LA PARROQUIA DE SAN JOSÉ DE AYORA, CAYAMBE”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO E INGENIERA AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Richard Alexis Arrieta Goyes

1722504949



Katherine Arlem Chica Santos

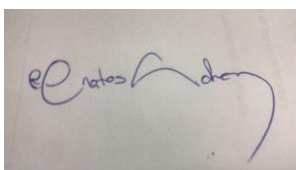
1715472963

Quito, julio de 2019

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo experimental, DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CON TECNOLOGÍA DE LODOS ACTIVOS, PARA LA PARROQUIA DE SAN JOSÉ DE AYORA, CAYAMBE, realizado por Richard Alexis Arrieta Goyes y Katherine Arlem Chica Santos, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio de 2019



Renato Gabriel Sánchez Proaño

Cédula: 1715542401

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Estudios Preliminares	1
1.2 Problema.....	1
1.3 Delimitación	3
2. OBJETIVOS	6
2.1 Objetivo general	6
2.2 Objetivos específicos.....	6
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1 Residuos	7
3.2 Aguas residuales.....	7
3.2.1 Características físicas del agua residual.....	8
3.2.2 Características químicas del agua residual.....	9
3.2.3 Características biológicas del agua residual.....	10
3.3 Contaminantes importantes de las aguas residuales.....	10
3.4 Tratamiento de aguas residuales - Planta de tratamiento	11
3.5 Tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	12
3.5.1 Por tipo de proceso:.....	12
3.5.2 Por el grado de tratamiento:	13
3.6 Tecnología de lodos activos en PTARs.....	15
3.7 Calidad de agua	17

3.8	Parámetros básicos de calidad de agua.....	18
3.8.1	Demanda bioquímica de oxígeno.....	18
3.8.2	Demanda química de oxígeno.....	18
3.8.3	Índice de biodegradabilidad	19
3.8.4	Nitrógeno y fósforo.....	19
3.8.5	Potencial de hidrógeno (pH).	20
3.8.6	Oxígeno disuelto.	20
3.8.7	Grasas y aceites.....	20
3.8.8	Turbiedad.	21
3.8.9	Conductividad.....	21
3.8.10	Potencial de óxido reducción.	21
3.9	Elección del proceso de tratamiento.....	22
3.10	Marco legal aplicable	22
3.11	Identificación de potenciales sitios de implantación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.	29
4.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
4.1	Materiales	30
4.1.1	Materiales para etapa de muestreo	30
4.1.2	Materiales para etapa de análisis de laboratorio	30
4.2	Equipos utilizados	31
4.3	Metodología.....	31
4.3.1	Metodología de campo.....	31

4.4	Metodología para análisis en laboratorio	33
4.4.1	Turbidez, OD (oxígeno disuelto), pH (potencial de hidrógeno), POR (potencial de óxido reducción), conductividad.....	33
4.4.2	DQO	34
4.4.3	Nitratos	34
4.4.4	Nitritos	34
4.4.5	Fosfatos	35
4.4.6	DBO ₅	35
4.4.7	Determinación de Sólidos	35
4.5	Análisis estadístico de DQO y DBO ₅	36
4.6	Estimación de la población.....	38
4.7	Análisis estadístico del caudal de agua residual.....	38
4.8	Diseño de la criba	40
4.9	Diseño del sedimentador primario.....	42
4.10	Diseño de trampa de grasa.....	44
4.11	Diseño del tanque de homogenización	45
4.12	Determinación de sistema de aireación	47
4.13	Diseño del tanque aireador	48
4.14	Diseño del sedimentador secundario	50
4.15	Diseño del tanque anóxico	53
4.16	Diseño del tanque de cloración	53
4.17	Determinación de la cantidad de cloro	54

4.18	Diseño de lecho de secados	54
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
5.1	Resultados	61
5.1.1	Resultados para análisis de calidad de agua.....	61
5.1.2	Resultados para dimensionamiento.....	63
5.2	Discusión	67
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
6.1	Conclusiones	68
6.2	Recomendaciones	69
7.	BIBLIOGRAFÍA	70
8.	ANEXOS	76

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Coordenadas de ubicación de las lagunas de oxidación, dentro del próximo Complejo Agroecológico Integral “San José de Ayora”	5
Tabla 2 Contaminantes importantes de las aguas residuales	10
Tabla 3 Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional	27
Tabla 4 Materiales utilizados en la etapa de muestreo.....	30
Tabla 5 Materiales utilizados en la etapa de análisis de laboratorio	30
Tabla 6 Equipos de laboratorio utilizados.....	31
Tabla 7 Análisis estadístico DQO	36
Tabla 8 Análisis estadístico DBO ₅	37
Tabla 9 Crecimiento poblacional de la parroquia de San José de Ayora, con respecto al crecimiento poblacional del cantón Cayambe.....	38
Tabla 10 Análisis de caudales	39
Tabla 11 Características de rejillas de barras	41
Tabla 12 Análisis de flujo acumulado para dimensionamiento del tanque Homogenizador	45
Tabla 13 Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios	50
Tabla 14 Tasa de lodos activos	55
Tabla 15 Cálculos correspondiente para determinación de tas de lodos activos	55
Tabla 16 Criterios de diseño para lecho de secado de arena.....	58
Tabla 17 Resultados de análisis de calidad de agua, parámetros básicos	61
Tabla 18 Resultados de análisis de calidad de agua, sólidos en el agua	62

Tabla 19 Resultado de análisis de calidad de agua, nutrientes presentes en el agua residual	62
Tabla 20 Resultado del análisis microbiológico de agua residual para coliformes ...	63
Tabla 21 Dimensiones para la criba	63
Tabla 22 Dimensiones para el sedimentador primario.....	63
Tabla 23 Dimensiones para la trampa de grasas	64
Tabla 24 Información para el sistema de aireación.....	64
Tabla 25 Dimensiones para el tanque de aireación	65
Tabla 26 Dimensiones para el tanque de homogenización	65
Tabla 27 Dimensiones para el sedimentador secundario	65
Tabla 28 Dimensiones para el tanque anóxico.....	66
Tabla 29 Dimensiones para el tanque de cloración.....	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de ubicación de la parroquia San José de Ayora.	3
Figura 2 Área de cimentación del Complejo Integral Agroecológico "San José de Ayora".	4
Figura 3 Ubicación del actual sistema de Tratamiento con respecto al Complejo Agroecológico "San José de Ayora".	5
Figura 4 Colocación del equipo SEV y sus electrodos, para realización de Análisis SEV.	33
Figura 5 Gráfica de probabilidad para DQO.	37
Figura 6 Gráfica de propabilidad para DBO ₅	37
Figura 7. Diagrama para el análisis de caudales, Caudal vs. Frecuencia, escala logarítmica.	39
Figura 8. Geometría de la trampa de grasa	44
Figura 9 Diagramas de masa esquemáticos para la determinación del volumen de homogeneización necesario para dos tipos de variación de caudales.	46
Figura 10 Relación Pérdida de presión vs. Rango de aireación	48
Figura 11 Grafica comparativa de $X\theta_c/(S_0-S)$ vs. $1/S$	56
Figura 12 Gráfica comparativa de $1/\theta_C$ vs. $(S_0-S)/X\theta_c$	56
Figura 13 Geometría para el lecho de secado de lodos.	59
Figura 14 Lecho típico de secado de arena.	60

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Metodología utilizada para análisis de DQO.....	76
Anexo 2 Metodología utilizada para el análisis de nitratos.	77
Anexo 3 Metodología utilizada para el análisis de nitritos	79
Anexo 4 Metodología utilizada para análisis de fosfatos.....	80
Anexo 5 Metodología utilizada para el análisis de DBO ₅	81
Anexo 6 Informe de resultados del análisis de laboratorio de suelos y agua realizado en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cayambe.....	82
Anexo 7 Toma de muestra de agua residual en la parroquia San José de Ayora.....	83
Anexo 8 Realización del análisis SEV, en campo la parroquia San José de Ayora ..	85
Anexo 9 Análisis de las muestras de agua residual en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito	88
Anexo 10 Planos de dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, para la parroquia San José de Ayora.....	97

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

CRETIB: Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico-infeccioso.

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno.

DQO: Demanda Química de Oxígeno.

GAD: Gobierno Autónomo Descentralizado.

IDEAM; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

INEC: Instituto Nacional de Estadística y Censo.

N: Nitrógeno.

OD: Oxígeno Disuelto.

P: Fósforo.

pH: potencial Hidrógeno.

POR: Potencial de Óxido Reducción.

PTAR: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

SEV: Sondeo Eléctrico Vertical.

SST: Sólidos Suspendidos Totales

SS: Sólidos Sedimentados

SSV: Sólidos Suspendidos Volátiles

SSVLM/L: Licor de mezcla.

ST: Sólidos Totales

TULSMA: Texto Unificado de Legislación del Ministerio del Ambiente

RESUMEN

El compromiso y responsabilidad ambiental de las entidades públicas y privadas, junto con la participación de la comunidad académica para dar soluciones a problemáticas ambientales, ha permitido elaborar proyectos que contribuyan a la gestión ambiental y los principios de sustentabilidad; siendo el caso de la gestión de las aguas residuales el apartado a destacar en esta investigación.

El presente trabajo tiene como propósito mostrar los procesos realizados para el desarrollo de un sistema de tratamiento de agua residual doméstica, para la parroquia San José de Ayora, Cayambe.

La ausencia de un sistema eficiente de tratamiento de aguas residuales domésticas es el motivador de este trabajo, que se ha desarrollado mediante la obtención de datos en campo para la realización de análisis de calidad de agua, fórmulas experimentales para las variables que involucra el diseño de la estructura mencionada, tales como caudal, volúmenes de los tanques, área a evaluar, cantidad de lodos producidos, dosificación para desinfectantes, tiempos de retención, entre otros.

Se presenta además un sustento bibliográfico para el uso de los datos obtenidos en la investigación y que permita interpretar los mismos de forma adecuada, se toma en cuenta las consideraciones teóricas para ciertos parámetros, que se utilizaron para respaldar el dimensionamiento de la planta.

Al culminar este trabajo se obtuvo como producto final los planos para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activos, que servirá de guía y base para su construcción e implementación, además de fines académicos para estudios futuros.

ABSTRACT

The commitment and environmental responsibility of public and private entities, together with the participation of the academic community to provide solutions to environmental problems, has allowed the development of projects that contribute to environmental management and sustainability principles; being the case of wastewater management the section to be highlighted in this investigation.

The purpose of this work is to show the processes carried out for the development of a domestic wastewater treatment system for the San José de Ayora parish, Cayambe.

The absence of an efficient system of domestic wastewater treatment is the motivator of this work, which has been developed by obtaining data in the field for the realization of water quality analysis, experimental formulas for the variables involved in the design of the aforementioned structure, such as flow, volumes of the tanks, area to be evaluated, quantity of sludge produced, dosage for disinfectants, retention times, among others.

We also present a bibliographical support for the use of the data obtained in the research and that allows us to interpret them in an appropriate way, considering the theoretical considerations for certain parameters, which were used to support the sizing of the plant.

At the end of this work, the final product was the plans for the design of a wastewater treatment plant with active sludge technology, which will serve as a guide and basis for its construction and implementation, as well as academic purposes for future studies.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Estudios Preliminares

La Parroquia de San José de Ayora, así como el cantón Cayambe son lugares de crecimiento y desarrollo considerables en aspectos sociales y económicos, donde las autoridades de la parroquia, y la comunidad en general quieren mostrar su compromiso y grado de responsabilidad ambiental mediante la construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Con el objetivo de optimizar la gestión de las aguas residuales se desarrollará esta tesis, misma que permitirá obtener el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activos, que satisfaga las necesidades de la parroquia en esta materia.

Mejorará las condiciones de salubridad, evitando focos de contaminación originados debido a la mala disposición de las aguas residuales domésticas, como producto de descargas inapropiadas, donde organismos vectores aprovechan estos espacios para reproducirse.

1.2 Problema

En la parroquia de San José de Ayora, existe dos lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas residuales, estas tienen más de 20 años, y no han recibido el mantenimiento y monitoreo correspondiente sobre su funcionamiento, eficacia y eficiencia en cuanto a su finalidad.

Estas lagunas actualmente. Se encuentra en funcionamiento una de ellas,

El actual sistema ocupa un espacio aproximado de 3 hectáreas, se encuentra en funcionamiento una de las lagunas, la otra corresponde a una siguiente fase, que no ha sido utilizada debido a una mala construcción y conexión entre ellas; por lo que no

cumple con su fin, y el agua es descargada en condiciones desconocidas al cauce del río Puluví.

El objetivo principal de la planta de tratamiento es disminuir los niveles de contaminación presentes en el agua residual, de esta forma se pretende cumplir con los requerimientos de la normativa ambiental para los efluentes de descarga, para impedir que los ecosistemas cercanos se vean comprometidos gravemente y los cultivos de la zona que utilizan el agua de este río para su producción no sean perjudicados; evitando a su vez el riesgo de afecciones directas a la salud de la población.

La planta de tratamiento tiene como objetivo beneficiar a los habitantes de la parroquia de San José de Ayora, además de convertirse en parte de la infraestructura del Complejo Integral “San José de Ayora”.

El sistema de tratamiento de aguas residuales es uno de los temas prioritarios para la administración actual del GAD de San José de Ayora, debido a que se mantiene una infraestructura inútil, la cual representa un gasto innecesario para el presupuesto otorgado a la entidad en mención.

Cabe mencionar que los tratamientos en América Latina se encuentran encaminados a tecnologías convencionales, no suelen tener la capacidad necesaria para soportar índices de biodegradabilidad menores a 0,4 de DBO₅/DQO; entonces los tratamientos mencionados no cumplen los requerimientos propuestos en la normativa, además de fallar con su propósito como sistema de degradación de aguas residuales, provocando la pérdida de inversiones que implica la construcción de este tipo de sistemas (Sanchez & Garcia , 2018, pág. 27)

1.3 Delimitación

1.3.1.1 Geográfica

La parroquia de San José de Ayora se encuentra ubicada a 77 kilómetros al nororiente de la ciudad de Quito, a una altura de 2750 m.s.n.m.; tiene una superficie de 138,59 km², que representa el 10,27% de toda la superficie cantonal; a su vez esta parroquia tiene como características a considerar que se encuentra en la zona de influencia del Parque Nacional Cayambe – Coca, es decir en las cercanías del volcán que lleva el mismo nombre (GAD Ayora, 2015)

Los límites de la parroquia son: la provincia de Imbabura al norte, al sur la cabecera cantonal de Cayambe, al este la parroquia Olmedo y al oeste el cantón Pedro Moncayo (parroquia Tupigachi) (GAD Ayora, 2015)

Se puede identificar la ubicación de la parroquia en la Figura 1 con respecto a nuestro país y sus límites según se menciona con anterioridad.

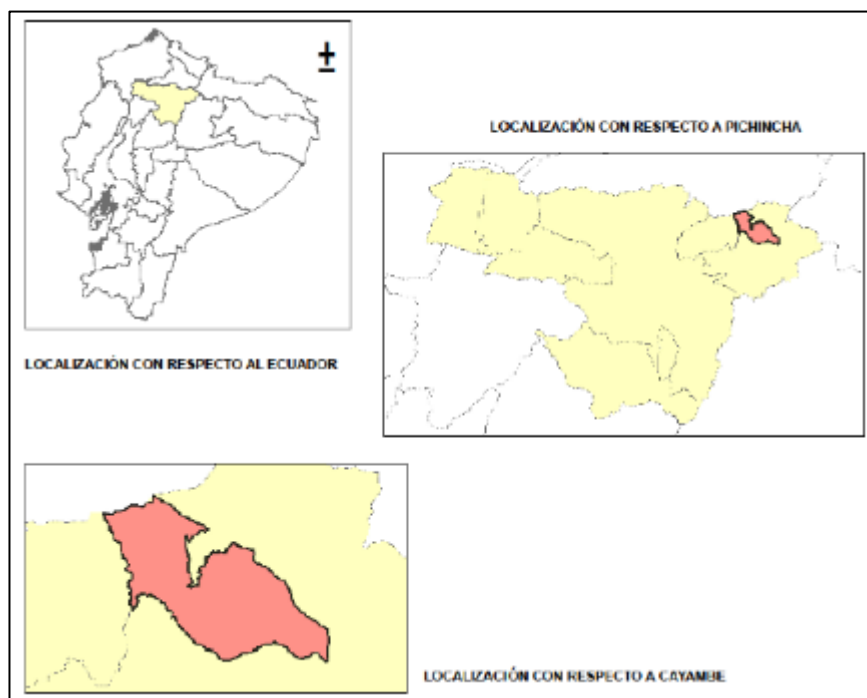


Figura 1 Mapa de ubicación de la parroquia San José de Ayora.

Fuente: Plan de Ordenamiento Territorial, Parroquia San José de Ayora. (GAD Ayora, 2015).

1.3.1.2 Temporal

El desarrollo del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activos tendrá una duración de seis meses desde el inicio de su construcción.

1.3.1.3 Sectorial

La planta de tratamiento de aguas residuales estará ubicada en la zona de cimentación del Complejo Integral Agroecológico “San José de Ayora”, ubicado en la parroquia que lleva el mismo nombre. (GAD Ayora, 2015)

En la Figura 2, se muestra el área destinada a utilizarse para el complejo y en la Figura 3 se muestran los puntos del actual sistema de tratamiento y su ubicación espacial en coordenadas UTM en la Tabla 1.



*Figura 2 Área de cimentación del Complejo Integral Agroecológico "San José de Ayora".
Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019 (Google Earth 2018, v7.3.2)*



Figura 3 Ubicación del actual sistema de Tratamiento con respecto al Complejo Agroecológico "San José de Ayora".

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019 (Google Earth 2018, v7.3.2)

Tabla 1 Coordenadas de ubicación de las lagunas de oxidación, dentro del próximo Complejo Agroecológico Integral "San José de Ayora"

Punto	Coordenada este	Coordenada norte
1	817627.00	7622.00
2	817525.00	7648.00
3	817543.00	7705.00
4	817640.00	7694.00
5	817513.00	7655.00
6	817381.00	7675.00
7	817401.00	7744.00
8	817531.00	7724.00

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

1.3.1.4 Institucional

Este trabajo tiene como límites institucionales, el Gobierno Autónomo Descentralizado de la parroquia San José de Ayora, en el cantón Cayambe como administrador, la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, Campus Sur como autor intelectual y desarrollador, y como beneficiarios los habitantes de la parroquia San José de Ayora.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la parroquia de San José de Ayora, en reemplazo de las lagunas de oxidación existentes en la zona de cimentación del Complejo Integral “San José de Ayora”.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar los datos de campo necesarios para el diseño.
- Realizar pruebas de tratabilidad en laboratorio para determinar la calidad de agua.
- Realizar los planos de, dimensionamiento, sanitario e hidráulico de la planta de tratamiento.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Residuos

Se entiende por concepto de residuos, a cualquier objeto, material o sustancia, así como los elementos resultantes del consumo o de las actividades humanas. Estos son los rechazos que el generador abandona, y que pudieren tener aprovechamiento o transformación en un nuevo material, obteniendo un valor económico, caso contrario serán sujetos a un proceso de disposición final. (Resol, 2011)

La eliminación o disposición de los residuos tiene como finalidad prevenir los problemas sanitarios y ambientales que pudieran generarse como resultado de la mala gestión de los residuos. Pero también tiene como objetivo recuperar todo aquello que se pueda reutilizar (EMGRISA, 2014)

Los residuos generados por las comunidades pueden ser de dos clases, tanto sólidos como líquidos, son estos últimos, los denominados aguas residuales, o aguas contaminadas como resultado de los diferentes usos para los que es empleada el agua (Metcalf & Eddy, 2003)

3.2 Aguas residuales

Las aguas residuales consideradas desde el punto de vista de su generación se pueden definir como el resultado de la combinación de los residuos sólidos y líquidos. El proceder de estas puede ser residencial, institucional, industrial, comercial, además de sumarse aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf & Eddy, 2003)

Las aguas residuales que no cuentan con sistemas para su depuración, tienden a ser descargadas a cuerpos de agua como ríos o lagos, donde contamina los cauces, afectando a los habitantes que se encuentran en las cercanías de estos cuerpos hídricos, lo cual provoca deterioro ambiental y compromete la flora y fauna de esos lugares (Calderon , 2016)

3.2.1 Características físicas del agua residual

- Color: Este puede variar de acuerdo con el tiempo, pero el patrón más común que suele presentar va del beige claro al negro. Esta coloración se encuentra determinada por la presencia de sólidos en el agua y debido a las condiciones de anaerobiosis y la descomposición de la materia orgánica (García, y otros, 2006)
- Olor: Es producido por la descomposición anaerobia de la materia orgánica, en especial por la presencia de ácido sulfhídrico, escatoles, compuestos amoniacales, mercaptanos y demás sustancias volátiles. Cuando el agua es reciente no suele haber presencia de olores de fácil detección (García, y otros, 2006)
- Temperatura: Esta se encuentra entre los 15° y 20°C, motivo por el cual se forma un ambiente adecuado que permite el fácil desarrollo de microorganismos (García, y otros, 2006)
- Sólidos: Estos se encuentran en casi todas las aguas residuales de proveniencia urbana, son todos los elementos o compuestos que no son agua. Uno de los problemas más notables de la presencia de sólidos, es el aumento de la turbidez del agua, lo que ocasiona graves consecuencias en la flora y fauna, como la deposición sobre vegetales y colmatación en branquias de peces, respectivamente. También genera depósitos de sedimentos en los medios receptores y de transporte (García, y otros, 2006)
 - Sólidos totales: se encuentran definidos como aquellos que se obtienen en forma de residuo posterior a someter al agua a un proceso de evaporación que va de los 103° y 105°C (Metcalf & Eddy, 2003)

- Sólidos sedimentables: son aquellos que sedimentan o precipitan en el fondo de un recipiente de forma cónica durante un periodo de tiempo determinado, el recipiente comúnmente utilizado para este análisis es el cono Imhoff, utilizando un tiempo de 60 min. Estos se expresan en unidades de mL/L; indican un valor aproximado de la cantidad de lodo que se obtendrá en la primera etapa de tratamiento del agua residual (Metcalf & Eddy, 2003)
- Sólidos en suspensión: también conocidos como sólidos totales no filtrables, son los que pueden dar lugar a depósitos o aglomeraciones de fango y puede producir condiciones anaerobias cuando existe contacto del agua residual no tratada con el entorno acuático (Metcalf & Eddy, 2003)

3.2.2 Características químicas del agua residual

- Componentes orgánicos: Pueden ser de origen vegetal o animal, aunque con el paso del tiempo, la presencia de compuestos orgánicos sintéticos ha aumentado a nivel mundial. Los compuestos que se encuentran en mayor cantidad son: las proteínas, hidratos de carbono y lípidos, así como los derivados de los mencionados. Otro de los compuestos de mayor presencia en este tipo de aguas residuales, son los detergentes, los cuales dan lugar a la formación de espumas que, producen un incremento de contaminación por materia orgánica disuelta al emulsionar o solubilizar las grasas y los aceites presentes en el agua. En organismos vegetales produce graves problemas, pues interfiere en los procesos biológicos y en los sistemas de coagulación-floculación y decantación (García, y otros, 2006)

- Componentes inorgánicos: Se consideran a todos los que tienen un origen mineral, como las sales, arcillas, lodos, arenas y gravas; aunque pueden figurar otros compuestos como los sulfatos, carbonatos, entre otros, que sufren diferentes transformaciones como los fenómenos de óxido reducción (García, y otros, 2006)

3.2.3 Características biológicas del agua residual

Las aguas residuales urbanas poseen una gran variedad de microorganismos, en gran parte por la presencia del componente orgánico, el cual sirve de sustento como medio de cultivo, lo que permite el desarrollo de los microorganismos que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como el carbono, el nitrógeno, el fósforo o el azufre. Entre los organismos que se pueden encontrar en mayor cantidad figuran: algas, mohos, bacterias, virus, flagelados, ciliados, rotíferos, nemátodos, anélidos, larvas, etc. (García, y otros, 2006)

3.3 Contaminantes importantes de las aguas residuales

En la Tabla 2, se puede ver los contaminantes característicos del agua residual, su fuente de origen, y su repercusión ambiental cuando estos no son controlados.

Tabla 2 Contaminantes importantes de las aguas residuales

Contaminante	Fuente	Importancia ambiental
Sólidos suspendidos	Uso doméstico, desechos industriales y agua filtrada a la red.	Causa de depósitos de lodo y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Compuestos orgánicos biodegradables.	Desechos domésticos e industriales.	Causa de degradación biológica, que incrementa la demanda de oxígeno en los cuerpos receptores y ocasiona condiciones indeseables.
Microorganismos patógenos.	Desechos domésticos	Causan enfermedades transmisibles.
Nutrientes	Desechos domésticos e industriales.	Pueden causar eutroficación.

Compuestos orgánicos refractarios.	Desechos industriales.	Pueden causar problemas de sabor y olor, pueden ser tóxicos o carcinogénicos.
Metales pesados.	Desechos industriales, minería, etc.	Son tóxicos, pueden interferir con el tratamiento y reúso del efluente.
Sólidos inorgánicos disueltos.	Debido al uso doméstico o industrial se incrementan con respecto a su nivel en el suministro de agua.	Pueden interferir con el reúso del efluente.

Fuente: Adaptado de Lizarazo & Orjuela, 2013. pp. 20

3.4 Tratamiento de aguas residuales - Planta de tratamiento

Los métodos de tratamiento en que usa fuerzas físicas son conocidos como operaciones unitarias. Los métodos de tratamiento en que la remoción de contaminantes se consigue mediante químicos o reacciones biológicas, son mejor conocidos como procesos unitarios; juntos brindan diferentes niveles de tratamiento, que son conocidos por lo general como: preliminar, primario, primario avanzado, secundario y avanzado o tratamiento terciario; el secundario puede considerar o no la remoción de nutrientes (Metcalf & Eddy, 2003).

Los niveles de tratamiento que requiere un agua residual dependen de los límites de vertido que se permiten al efluente. En base a esto se determina el tipo de tratamiento que necesita. El tratamiento primario se utiliza para eliminar sólidos en suspensión y el material flotante, en el tratamiento secundario se destacan los tratamientos biológicos y en el tratamiento terciario se lo utiliza para eliminar contaminantes que no pueden depurarse con los procesos biológicos que se realizan de forma convencional (Ramalho, Jiménez Beltrán, & Lora, 2003).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales, son parte de la gestión de residuos y gestión del agua de una comunidad; estas tienen como propósito la remoción de

contaminantes en el agua producto de la actividad humana, con la finalidad de cumplir normas nacionales e internacionales (Gortaire López, 2015).

La planta de tratamiento a pesar de realizar el tratamiento desprende un subproducto residual en varias de sus etapas, conocidos como lodos, que generalmente son considerados como indeseables por los diferentes problemas que ocasionan gracias a su inestabilidad y al contenido de microorganismos que poseen. Desde el punto de vista económico representan un costo adicional para su tratamiento o simplemente para su manejo por el considerable contenido de humedad que tienen (Oropeza García, 2006; Valencia Bonilla, 2008).

3.5 Tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Según, Lizarazo & Orjuela, 2013 los tipos de sistemas de tratamiento por tipo de proceso se dividen en:

3.5.1 Por tipo de proceso:

- Procesos físicos: Remoción de material en suspensión, rejillas, trituradores, sedimentador primario, espesadores y filtración.
- Procesos químicos: Aplicación de productos químicos para la eliminación o conversión de los contaminantes. Precipitación, adsorción y desinfección.
- Procesos biológicos: Se llevan a cabo gracias a la actividad biológica de los microorganismos. Eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables presentes, eliminación del N y P y producción de gases.

3.5.2 Por el grado de tratamiento:

3.5.2.1 Tratamientos preliminares

- **Cribado:** La función que cumple este proceso es retener los sólidos de gran tamaño que se encuentren en el agua, para evitar su ingreso a los tratamientos posteriores, a través de una rejilla, que puede ser de cualquier material agujereado de la forma correcta que se ajuste a las características de los sólidos presentes en el agua residual. Los materiales que se utilizan son: láminas metálicas, madera, concreto, celosía fija, emparrillados de hierro o acero (Lizarazo & Orjuela, 2013; Romero Rojas, 2004).
- **Tamizado:** Se consigue a través de la utilización de tamices de mallas, que permiten la separación sólido – líquido, de partículas de menor tamaño que las que se retienen en el cribado (Lizarazo & Orjuela, 2013).
- **Trituradores:** Contribuyen con la reducción del tamaño de los sólidos gruesos y partículas de gran tamaño, para obtener partículas de menor tamaño y mayor uniformidad, que mejora las operaciones y procesos posteriores y elimina posibles problemas de funcionamiento (Lizarazo & Orjuela, 2013).
- **Desarenadores:** Su función es remover arenas y guijarros, para prevenir la abrasión de los equipos, evitar la sedimentación en tuberías, canales y tanques que podrían provocar obstrucciones (Lizarazo & Orjuela, 2013).

Según, Lizarazo & Orjuela, 2013 los tratamientos primarios se pueden clasificar en:

3.5.2.2 Tratamientos primarios

- Sedimentación: el sistema de sedimentación utiliza un principio físico sencillo, el de la diferencia de densidad y peso entre el líquido y las partículas, lo que ocasiona que las de mayor peso, precipiten.
- Flotación: mediante este tratamiento se realiza la separación de partículas sólidas o líquidas del medio líquido, es decir, la remoción de grasas y aceites, además de la agrupar sólidos en suspensión. Para estos procesos se hace una inyección de pequeñas cantidades de aire, formando burbujas que arrastren las partículas hacia la superficie.
- Coagulación: Se realiza mediante coagulantes químicos, que, al ser añadidos al agua en tratamiento, desestabilizan los componentes de esta, por suspensión de fuerzas estabilizadoras.

3.5.2.3 Tratamientos secundarios

- Sistema de biomasa en suspensión (lodos activos): El fundamento de este proceso se basa en la formación de una masa de microorganismos activos con la capacidad de estabilizar un desecho con carga orgánica baja, en condiciones aerobias. Este ambiente se consigue a través de la aireación difusa o mecánica en un tanque de aireación (Lizarazo & Orjuela, 2013).

La eficacia de este sistema radica en la agitación y aireación de una mezcla de agua residual y lodos biológicos, ya que a medida que las bacterias reciben una dotación de oxígeno, consumen la materia

orgánica del agua residual para transformarla en sustancias más simples (Lizarazo & Orjuela, 2013).

Esta mezcla de lodos activados y agua residual es transportada hacia un tanque de sedimentación para ser purgado (Lizarazo & Orjuela, 2013).

- Sistema de biomasa adherida: Para este sistema se utiliza un lecho de soporte de un material inerte (plástico, piedra, entre otros.) donde los microorganismos se encuentran adheridos, mismos que pueden ser aerobios o anaerobios (Lizarazo & Orjuela, 2013).
- Lecho de secado de lodos: El lecho de secado es la estructura, más utilizada para la deshidratación de lodos, pues permite reducir el contenido de humedad en los lodos, en rangos menores al 85% a través de la temperatura ambiente y con ayuda de la radiación solar. Su bajo costo y su sencillo mantenimiento son las causas que lo convierten en una de las soluciones más viables. Este tipo de sistemas se caracterizan por su poca profundidad, además del uso de arena y grava, y un sistema de drenaje en su interior el cual permite recoger los lixiviados. Esta estructura permite una recolección más eficaz de los lodos una vez secos para posteriores tratamientos en vertederos controlados, también se usa en sistemas de acondicionamiento de suelos o introducción a sistemas de compostaje con enfoque en la agricultura (Aguamarket, s. f.; Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond, 2018; Romero Rojas, 2004).

3.6 Tecnología de lodos activos en PTARs

Cuando se habla de métodos tradicionales para el diseño de una planta de tratamiento, son aquellos basados en modelos de caja negra, enfocados en la

composición del afluente y el efluente de la planta, sin embargo, el proceso interno de la misma se desconoce. Es aquí en donde se buscan parámetros para el diseño que incluyen la relación alimento microorganismo, a pesar de no basarse en la comprensión del proceso, sino en la utilización de cargas orgánicas que sean adecuadas (López, Buitrón, Cervantes, & García, 2017).

Los tratamientos biológicos en aguas residuales se enfocan en la capacidad que poseen los microorganismos, hacia la conversión de la materia orgánica que se encuentra suspendida y disuelta, en un tejido celular completamente nuevo y más denso que el agua, con el fin de ser eliminado de forma sencilla en el proceso de la decantación (Varila & Díaz, 2008).

El procedimiento, del modelo de lodos activados, se basa en la aireación del agua que se necesita descontaminar, de manera que se logren oxidaciones de forma rápida del material orgánico presente, y que al pasar el tiempo se aglutinan ciertos productos que aumentan la sedimentación; el cultivo para lodos activados se producen previamente por aireación de cantidades de agua residual sucesivas, conservándolo activo por la aireación, y al encontrarse aislado o a su vez en contacto con el agua residual (Seoáñez Calvo, 2012).

En el modelo de Lodos Activos, el lodo como tal se divide en fracciones de materia inerte, bacterias nitrificantes, bacterias heterótrofas, bacterias desnitrificantes y una de bacterias removedoras de fosfato (López et al., 2017).

Para los tratamientos de aguas residuales se necesita la remoción del fósforo para la reducción de algas, que se desarrollan en 0.05mg/L de fosforo, y dado el caso de aguas residuales contienen alrededor de 25mg/L de fosfato en sus diferentes formas, debe existir una eficiencia de eliminación alta para evitar el crecimiento de algas, lo

cual ocurre en el sedimentador primario, en la unidad de lodos activados y después del tratamiento secundario (Manahan, 2007).

En el tratamiento que se da por lodos activados, se remueve cerca del 20% del fósforo de las aguas residuales; bajo diferentes condiciones de operación en las PTARs se observan remociones de fósforo mayores, caracterizadas por valores de oxígeno disuelto y pH altos en el tanque de aireación, logrando tasas de 60.90% de fósforo eliminado (Manahan, 2007).

Los análisis de turbidez realizados en las muestras tomadas, se realiza con el fin de obtener un indicador eficaz para proporcionar la dosis de químicos necesarios en el caso de utilizarlos en los lodos activados (Lara, Torres, & Baquero, 2014).

El sistema de lodos activados es factible para cualquier fuente de descarga que genere vertidos con carga orgánica, pH admisible, que no estén presentes productos tóxicos, con temperaturas apropiadas, y si han sido eliminados grasas y aceites previamente. Entre las actividades en las que puede ser aplicable se encuentran: papeleras, agua residual asimilable a urbana, curtidos, agroalimentarias, laboratorios farmacéuticos, petroquímicas (fenoles y otros) (Seoáñez Calvo, 2012).

3.7 Calidad de agua

La calidad del agua son atributos que presenta el agua, misma que permite determinar si cumple con todos los criterios físicos, químicos y biológicos para ser aceptada en cuanto a los diferentes usos que se le puede dar a esta. Ya que esta tiene una relación directa con las características de supervivencia, reproducción y crecimiento de diferentes especies (Chang, 2016).

Para el diseño de una planta de tratamiento de agua residual, es necesario realizar evaluaciones de los atributos y condiciones del agua a tratar, entre los parámetros que se valoran se encuentran: Sólidos Suspendidos Totales, (SST), Demanda Química de

Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Nutrientes como nitrógeno y fósforo, gérmenes contenidos como coliformes fecales, y metales pesados, todo esto para el correcto análisis de las aguas residuales (Romero Rojas, 2004).

3.8 Parámetros básicos de calidad de agua

3.8.1 Demanda bioquímica de oxígeno

Este parámetro es conocido como DBO, y se determina mediante un ensayo que permite determinar la contaminación orgánica. Este ensayo mide el oxígeno disuelto que los microorganismos consumen en los procesos de oxidación bioquímica de la materia orgánica; es uno de los parámetros de contaminación orgánica de mayor aplicación. Los ensayos de DBO se emplean con 4 objetivos concretos, que son: determinar la cantidad de oxígeno que se va a requerir para conseguir la estabilización de la materia orgánica biológicamente biodegradable; dimensionar las instalaciones que tendrá la planta de tratamiento de aguas residuales; determinar la eficacia de los procesos de tratamiento y controlar que se lleve a cabo el cumplimiento de límites para vertidos (Metcalf & Eddy, 2003).

3.8.2 Demanda química de oxígeno.

Este parámetro al igual que la demanda bioquímica de oxígeno, es conocido por sus iniciales DQO. Permite determinar la cantidad de oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente a través de un oxidante fuerte, en medio ácido a temperaturas elevadas, en ciertas ocasiones se requiere la ayuda de un catalizador. Los compuestos comúnmente utilizados para este proceso son el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) como agente oxidante, y el sulfato de plata ($C_{10}H_9AgN_4O_2S$), como catalizador (Romero Rojas, 2004).

3.8.3 Índice de biodegradabilidad

El índice de biodegradabilidad se encuentra dado por la relación que existe entre la DBO_5/DQO . Cuando existe presencia de cierto tipos de contaminantes conocidos como refractarios, que son producto de la mezcla entre agua residual doméstica e industrial; situación con mayor presencia en zonas rurales donde el uso de productos químicos para limpieza del hogar, y por su puesto medicamentos, pesticidas, entre otros, el índice de biodegradabilidad disminuye considerablemente, llegando a comprometer las plantas de tratamiento (Sánchez Proaño & García Gualoto, 2018).

El índice de biodegradabilidad puede ser controlado a través de una reacción Fenton, que permita mantenerlo suficientemente estable para poder someter el agua residual a un proceso de tratamiento posterior. (Sánchez Proaño & García Gualoto, 2018).

3.8.4 Nitrógeno y fósforo.

Estos dos elementos son primordiales para el crecimiento de plantas y protistas, por eso se los conoce como nutrientes o bioestimuladores para los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, cuando estos se encuentran en concentraciones considerables, esto indica un nivel de contaminación. Ya que el nitrógeno por su parte es un elemento completamente básico, es imprescindible conocer los datos de concentración, pues nos permitirá valorar la posibilidad de tratamiento mediante procesos biológicos; esta valoración se realiza ya que el exceso de estos nutrientes permite la proliferación de algas, mismas que deterioran la calidad del agua, hábitats y reduce el oxígeno para las especies acuáticas, deteriorando la calidad del agua. Esto en términos de tratamiento de aguas se traduce en un aumento radical de los costos de tratamiento, y expresado en términos de normativa ambiental, los nutrientes de agua residual que se viertan a un embalse, a una zona, o cauce de escasa resiliencia, aumenta gran cantidad de

materia orgánica que la del agua bruta de origen, desacreditando por completo el tratamiento en mencionado con anterioridad (de Cárcamo, 2017; Metcalf & Eddy, 2003; Polo Cañas, 2017).

3.8.5 Potencial de hidrógeno (pH).

El Potencial de hidrógeno, es uno de los parámetro de mayor relevancia en cuanto a calidad de agua refiere, pues existe un intervalo de concentración adecuado donde se pueden dar procesos de proliferación y desarrollo de los organismos, y este valor es muy estrecho crítico, pues al estar fuera de este rango los tratamientos biológicos no serían efectivos (Romero Rojas, 2004).

3.8.6 Oxígeno disuelto.

El oxígeno disuelto es aquel que permite la respiración de microorganismos aerobios, debido a que el oxígeno tiene un grado de solubilidad en el agua, pero esta cantidad tiene ciertas condiciones para indicar su presencia: la solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, la temperatura y la pureza del agua. Principalmente con la temperatura se produce un aumento de la velocidad de las reacciones que consumen el oxígeno. Suelen presentarse algunos problemas en temporales calurosos, debido a la disminución de los niveles de este parámetro por la baja de caudales de la época, por lo tanto se producen olores desagradables (Metcalf & Eddy, 2003).

3.8.7 Grasas y aceites.

Son provenientes de origen animal, vegetal y mineral, de las mantequillas, margarinas, aceites, mantecas, carnes, hidrocarburos respectivamente. Estos están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Se identifican con facilidad pues se encuentra flotando en la superficie de las aguas residuales. El problema de este tipo de compuestos es que, aunque se encuentre emulsificado, en cantidades elevadas

provocan serios problemas de mantenimiento y funcionamiento en la planta, y aunque pueden ser biodegradables, algunos no lo son por lo que se requiere un pretratamiento para su remoción previa a los tratamientos biológicos (Romero Rojas, 2004).

3.8.8 Turbiedad.

Este parámetro es la medida óptica del material suspendido en el agua. Las aguas residuales sin tratamiento presentan valores elevados, debido a que todas son turbias, aunque es un parámetro de tratamiento sencillo, se considera fundamental para el control de calidad de agua, pues está estrechamente relacionado con la materia orgánica coloidal y residual en suspensión (Metcalf & Eddy, 2003; Romero Rojas, 2004).

3.8.9 Conductividad.

Es la medida de corriente eléctrica que puede pasar a través del agua. La determinación de este parámetro se realiza debido a que el agua pura es muy mala conductora de esta energía, y con el uso del agua la conductividad aumenta, lo cual indica la presencia de impurezas y sales disueltas. También posteriormente permitirá saber si el agua después del tratamiento es apta para riego. El intervalo normal va de los 1.000 – 2.000 μ Siemens/cm (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua, s. f.).

3.8.10 Potencial de óxido reducción.

También llamado potencial redox, o conocido por sus siglas POR, se basa en el principio donde una sustancia se oxida y otra se reduce, esto por la transferencia de electrones en las mismas, además de un intercambio de energía química. Este potencial redox depende de la concentración y de la temperatura. Esta medida expresa la capacidad de oxidación que posee la solución. Esta medición se enfoca en el control

de la desinfección en las aguas, que indica valores de concentración de cloro libre (Albarrán-Zavala, 2008; Hanna Instruments, s. f.).

3.9 Elección del proceso de tratamiento

La elección de los procesos de tratamiento que permita cumplir el objetivo establecido de mejorar la calidad del agua y dejarla en condiciones acordes con la normativa, es uno de los puntos más importantes y críticos en cuanto al diseño de plantas de tratamiento, pues la metodología conducirá al análisis de los procesos convenientes. Se consideran factores importantes como la variabilidad del afluente, la capacidad de las unidades de tratamiento y la tolerancia de estas, la combinación adecuada de procesos y operaciones unitarias; esto a través de la valoración y evaluación de estas composiciones, encaminándonos a realizar un análisis comparativo de las diferentes alternativas existentes, aunque se puede generalizar, cada afluente de agua residual posee sus características particulares; además de siempre verificar la aplicabilidad, limitaciones ambientales, necesidades químicas; energéticas; recursos adicionales, personal tanto en explotación como en mantenimiento.; procesos auxiliares, fiabilidad, complejidad, compatibilidad y disponibilidad física (Merino Gonzáles, 2010; Metcalf & Eddy, 2003).

3.10 Marco legal aplicable

El marco legal aplicable para la siguiente investigación se sustenta en las siguientes leyes de carácter ambiental que se describen a continuación con los numerales correspondientes que permitan orientar y justificar de forma nomotética la propuesta de una PTAR.

De acuerdo con la Constitución Política de la República del Ecuador, publicada en el Registro Oficial N° 499 del 20 de octubre de 2008.

- Título II: Derechos:
 - Capítulo segundo: Derechos del buen vivir, Sección segunda:

Ambiente sano

 - Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.
 - Capítulo séptimo: Derechos de la naturaleza
 - Art. 71.- La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

- Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración.
Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de Indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.
- Título VII: Régimen del buen vivir.
 - Capítulo Segundo: Biodiversidad y recursos naturales, Sección primera: Naturaleza y ambiente.
 - Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:
 2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.
- Capítulo Segundo: Biodiversidad y recursos naturales, Sección sexta: Agua.
 - Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

- Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

Según el Acuerdo Ministerial N° 061, Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, del 4 de mayo de 2015.

- Capítulo VIII: Calidad de los componentes bióticos y abióticos
 - Sección I: Disposiciones generales
 - Art. 192 Obligación. - Todas las personas naturales o jurídicas públicas o privadas, comunitarias o mixtas, nacionales o extranjeras están en la obligación de someterse a las normas contenidas en este Libro, previo al desarrollo de una obra o actividad o proyecto que pueda alterar negativamente los componentes bióticos y abióticos con la finalidad de prevenir y minimizar los impactos tanto si dicha obra, actividad o proyecto está a su cargo, como cuando es ejecutada por un tercero.
 - Sección III: Calidad de los componentes abióticos, Parágrafo I: Del Agua
 - Art. 209 De la calidad del agua. - Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la

salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico.

La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I.

En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas, así como del cuerpo de agua receptor.

Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición fisicoquímica y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso.

- Art. 211 Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. - La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de

tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados.

Las actividades productivas, se sujetarán a lo dispuesto en el presente Libro y a la normativa técnica que para el efecto emita la Autoridad Ambiental Nacional. La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este Libro.

Libro VI, Anexo 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes:

Recurso agua.

Tabla 3 Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N – Amoniaco	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	Color real	Unidades de color	
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	Mg/l	500
Bifenilo	Concentración de PCBs totales	µg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5

Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N – Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N – Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6 – 9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1000
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición natural, 0 – 3 grados
	Sustancias activas		
Tensoactivos	al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Productos ara la desinfección (Cloroformo, Bromodiclorometano, Dibromoclorometano y Bromoformo.)		mg/l	0,1
	Hidrocarburos Aromáticos		
Benceno	C ₆ H ₆	µg/l	10,0
Benzo (a) pireno		µg/l	0,1
Etilbenceno		µg/l	700
Estireno		µg/l	100
Tolueno		µg/l	1000
Xilenos (totales)		µg/l	10000
	Pesticidas y herbicidas		
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1

Dibromocloropropano (DBCP)	Concentración total de DBCP	µg/l	0,2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	µg/l	0,05
Dicloropropano (1, 2)	Concentración total de dicloropropano	µg/l	5
Diquat		µg/l	70
Glifosato		µg/l	200
Toxafeno		µg/l	5
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		µg/l	3
Dicloroetano (1, 2-)		µg/l	10
Dicloroetileno (1, 1-)		µg/l	0,3
Dicloroetileno (1, 2 – cis)		µg/l	70
Dicloroetileno (1, 2 – trans)		µg/l	100
Diclorometano		µg/l	50
Tetracloroetileno		µg/l	10
Tricloroetano (1, 1, 1 -)		µg/l	200
Tricloroetileno		µg/l	30
Clorobenceno		µg/l	100
Diclorobenceno (1, 2-)		µg/l	200
Diclorobenceno (1, 4 -)		µg/l	5
Hexaclorobenceno		µg/l	0,01
Bromoximil		µg/l	5
Diclorometano		µg/l	50
Tribrometano		µg/l	2

Fuente: Adaptado de Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua, del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente., Anexo 1 pp. 295

3.11 Identificación de potenciales sitios de implantación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

La determinación del lugar de implantación es de vital importancia, pues tiene mucha relación e influencia de la ubicación y características del terreno, por tal motivo se realizaron estudios de mecánica de suelos que permitieron determinar el comportamiento y situación del suelo; ya que este lugar debe garantizar que el agua a tratarse circule con normalidad y sin inconvenientes, para su construcción, el material removido sea el menor posible y se pueda utilizar posteriormente como relleno, donde el terreno lo necesite (Calderón Hidalgo, 2016; Cuenca Acaro, 2018).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

Los materiales que se utilizaron se dividen en dos etapas: materiales utilizados para etapa de muestreo y materiales utilizados para etapa de análisis de laboratorio.

4.1.1 Materiales para etapa de muestreo

Los materiales utilizados para la etapa de muestreo son elementos básicos para poder recolectar las muestras de agua, y se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4 Materiales utilizados en la etapa de muestreo

Material	Característica
Bidón de agua	Capacidad para 20 L
Balde	con capacidad de 12 L
Botellas plásticas recicladas	Capacidades de 3 L y 300 cm ³
Soga	Longitud de 3 m
Guantes	Caucho / Quirúrgicos
Navaja	
Etiquetas adhesivas	
Marcador	

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

4.1.2 Materiales para etapa de análisis de laboratorio

Los materiales que se mencionan en la Tabla 5 fueron utilizados para llevar a cabo los diferentes análisis de laboratorio, y pruebas piloto; mismos que fueron proporcionados por la universidad.

Tabla 5 Materiales utilizados en la etapa de análisis de laboratorio

Material	Característica
Vasos de precipitación	Capacidades de: 1500 mL, 1000 mL y 400 mL
Conos Imhoff	Capacidad de 1000 mL
Jeringuillas	Capacidades de 5 mL
Crises	Capacidades de: 50 mL y 100 mL
Guantes	Aislantes de calor
Pinzas	

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

4.2 Equipos utilizados

Los equipos utilizados para realizar los análisis de calidad de agua correspondientes se describen en la Tabla 6, se deja constancia de su registro y procedencia, para garantizar la veracidad de los análisis mencionados.

Tabla 6 Equipos de laboratorio utilizados

Nombre	Marca	Modelo / código
Turbidímetro	Orbeco Hellige	TB200 Portable Turbidímetro
Equipo OD	Horiba Scientific	9H5MOO14, #9551-20D
pH – metro	Hanna Instruments	COMBO Ph & ORP, WATERPROOF, QUI-103A
Refrigerador Incubadora	Velp Scientifica	FTC 90E
Sensor para DBO ₅	Velp Scientifica	F102B0133, S/N 111470, S/N 111471 S/N 111470
Fotómetro	Hanna Instruments	HI83208, WATER CONDITIONING PHOTOMETER
Digestor	Scp Science	F10SA0109, DIGI PREP CUBE
Viales	Hanna Instruments	HI93754C-O, LOTE: 4383, COD: C

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

4.3 Metodología

4.3.1 Metodología de campo

4.3.1.1 Muestreo de aguas

Se consideró que el método de muestreo depende del régimen de variación del caudal, la disponibilidad de recursos económicos y el propósito de estos; se realizaron muestras instantáneas, para verificar la variabilidad de la naturaleza del agua residual doméstica, y se realizó el muestreo semanalmente, en días diferentes.

Este tipo de muestras pueden no ser representativas, pero al verificar que no existe variabilidad no fue necesario proceder con muestras compuestas, debido a que el flujo de agua residual no es continuo y las características residuales fueron relativamente constantes, y los parámetros no presentaron ningún cambio significativo durante el periodo de muestreo; además las muestras simples se usan para la determinación de los parámetros básicos de calidad de agua.

Para el muestreo, se utilizó un balde para tomar la muestra desde el canal de ingreso a la laguna de oxidación; con una parte de la muestra se realizó el enjuague del bidón; luego se procedió a traspasar cuidadosamente a este la muestra, procedimiento que puede observarse en el Anexo 7. Finalmente, antes de cerrar el bidón se colocó un pedazo de plástico en la boca de este, y se cerró para evitar que la muestra pueda salir del bidón, así como el ingreso de aire al mismo.

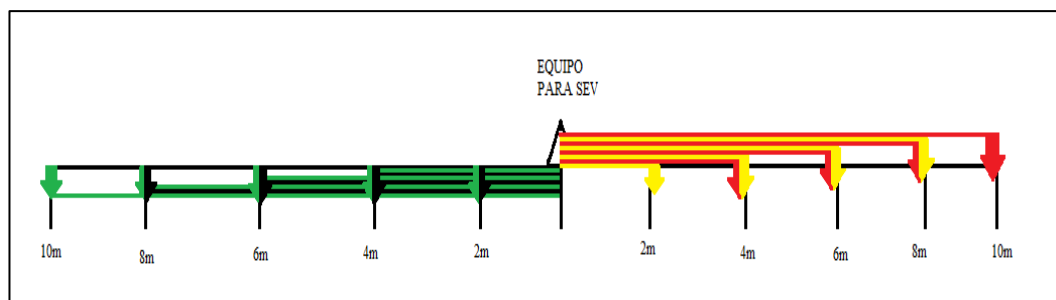
Para la toma de muestras, transporte y utilización dentro del laboratorio se utilizó como referencia el Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, (IDEAM) del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial de La República de Colombia, con la finalidad de obtener datos acertados en cuanto a la calidad de agua de la parroquia de San José de Ayora, esto permitió conocer las condiciones actuales del estado de las aguas provenientes del alcantarillado, para establecer los parámetros necesarios para el diseño.

4.3.1.2 Propiedades y características del terreno

- **Propiedades del terreno**

Es importante conocer las propiedades del terreno de forma previa a cualquier estudio de implantación o construcción de un proyecto, por lo cual es necesario considerar la resistividad del suelo, así como la existencia de acuíferos; se realizó una prueba Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), que se puede observar en el Anexo 8.

Esta prueba se realizó mediante la inyección de corriente al terreno a través de electrodos clavados en el mismo, se usó como centro el punto de ubicación del voltímetro; y los electrodos colocados a distancias de 2, 4, 6, 8 y 10m de forma perpendicular progresivamente, aplicando una descarga de corriente de 2 ohmios y en 20 ohmios, como se describe en la Figura 4.



*Figura 4 Colocación del equipo SEV y sus electrodos, para realización de Análisis SEV.
Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019*

- **Topografía del terreno**

La topografía utilizada, fue tomada de (Escobar Tobar & Flores Guamán, 2018), del estudio de “Estudio de factibilidad de la “eco ruta de caminata y bicicleta río San José” y diseño definitivo de la red vial del “Complejo Integral Agroecológico San José de Ayora, cantón Cayambe”.

4.4 Metodología para análisis en laboratorio

Los parámetros básicos utilizados para el análisis de calidad de agua se detallan a continuación, así como los equipos con los que fueron realizados, cuya evidencia se observa en el Anexo 9.

4.4.1 Turbidez, OD (oxígeno disuelto), pH (potencial de hidrógeno), POR (potencial de óxido reducción), conductividad

Para la medición de estos parámetros de calidad del agua, se utilizaron los equipos:

- Turbidímetro: Marca: ORBECO HELLIGE TB200 portable turbidímetro.
Se colocó una muestra de 10 mL en la cubeta que el equipo posee para la determinación de turbidez, posteriormente se introdujo la cubeta en el instrumento. Luego se pulsó el botón “enter” y se obtuvo el valor de turbidez en la pantalla del dispositivo.

- Equipo OD: Marca: HORIBA SCIENTIFIC #9551-20D 9H5MOO14, se determinó introduciendo la sonda en un vaso de precipitación con 300 mL de muestra; luego se pulsó el botón “measure” y se obtuvo el valor de OD en la pantalla del dispositivo.
- pH: Marca: HANNA INSTRUMENTS, #QUI-103A, Se determinó introduciendo la sonda del equipo en un vaso de precipitación con 300 mL de muestra, y presionando el botón “measure” y se obtuvo el valor de pH en la pantalla del dispositivo.
- POR: Marca: HANNA INSTRUMENTS, #QUI-103A, Se determinó siguiendo el procedimiento anterior, debido a que el equipo utilizado permite realizar ambos análisis. Para esto se presionó las flechas de selección y se obtuvo el valor de POR en la pantalla del dispositivo.

4.4.2 DQO

El análisis para DQO se realizó con el equipo **HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer**, de acuerdo con la metodología indicada en el manual de usuario descrita en el Anexo 1.

4.4.3 Nitratos

El análisis para DQO se realizó con el equipo **HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer**, de acuerdo con la metodología indicada en el manual de usuario descrita en el Anexo 2.

4.4.4 Nitritos

El análisis para DQO se realizó con el equipo **HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer**, de acuerdo con la metodología indicada en el manual de usuario descrita en el Anexo 3.

4.4.5 Fosfatos

El análisis para DQO se realizó con el equipo **HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer**, de acuerdo con la metodología indicada en el manual de usuario descrita en el Anexo 4.

4.4.6 DBO₅

La determinación de la DBO₅ se realizó a través de **Equipos Velp para determinación manométrica de la DBO₅**, se tomó como guía la metodología indicada en el manual de operaciones descrita en el Anexo 5.

4.4.7 Determinación de Sólidos

4.4.7.1 Sólidos totales

La determinación de sólidos totales se realizó a través de la mufla para un proceso de evaporación a una temperatura de 105°C y se determinó la concentración a través de la siguiente formula

$$ST(\text{mg/l}) = \frac{(B-A)}{V(\text{litros})} \times 1000$$

donde,

A: peso recipiente vacío

B: peso recipiente muestra seca

V: Volumen de muestra agregado

4.4.7.2 Sólidos sedimentables

El análisis de sólidos sedimentables se realizó a través del cono Imhoff, tomando como tiempos representativos la cantidad de sólidos que sedimentaron dentro de 15 min y posteriormente utilizando una varilla de vidrio se retiran aquellos adheridos a las paredes del recipiente y luego la cantidad de sólidos sedimentables dentro de 60 min.

4.4.7.3 Sólidos en suspensión

Para la determinación de sólidos suspendidos se utiliza una bomba de vacío para filtrar la muestra de agua residual, el filtro debe ser de 0.6 o 0.8 μm . Para su determinación se utilizó la siguiente ecuación.

$$SST(\text{mg/l}) = \frac{(A-B)}{V(\text{litros})} \times 1000 \quad (2)$$

donde,

A: peso recipiente muestra seca

B: peso recipiente vacío

V: Volumen de muestra agregado

Los valores de sólidos en suspensión fijos y volátiles se determinaron de forma teórica en los cálculos necesarios para el diseño de la PTAR.

4.5 Análisis estadístico de DQO y DBO₅

El análisis estadístico se realizó de acuerdo la metodología de Romero Rojas (2002), páginas 113 a 116, en el apartado de “*Métodos de Análisis*” con la ayuda del software Excel.

Este análisis permite utilizar el valor del 95% de frecuencia en los parámetros de DQO y DBO₅, descritos en las Tabla 7 y Tabla 8 respectivamente.

- DQO:

Tabla 7 Análisis estadístico DQO

m	DQO [mg/L]	Frecuencia, f (%)
1	50	7,14
2	52	21,43
3	55	35,71
4	1183	50,00
5	1230	64,29
6	1535	78,57
7	1738	92,86

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

- DBO₅

Tabla 8 Análisis estadístico DBO₅

m	DBO ₅ Real [mg/L]	Frecuencia, [f %]
1	146.47	7.14
2	148.3	21.43
3	153.5	35.71
4	202.03	50.00
5	211.8	64.29
6	250.4	78.57
7	353.5	92.86

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

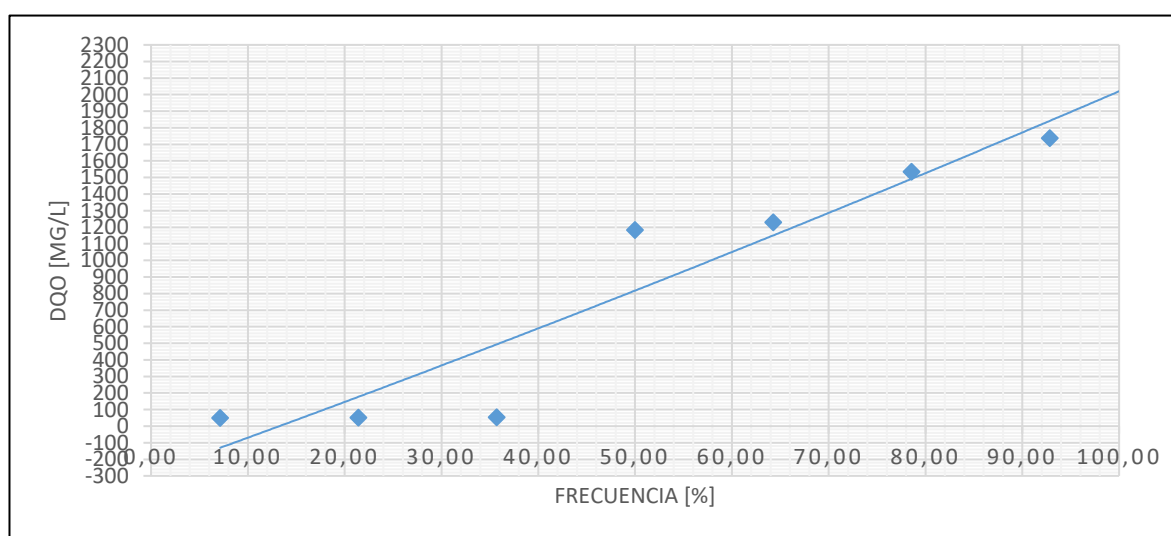


Figura 5 Gráfica de probabilidad para DQO.

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

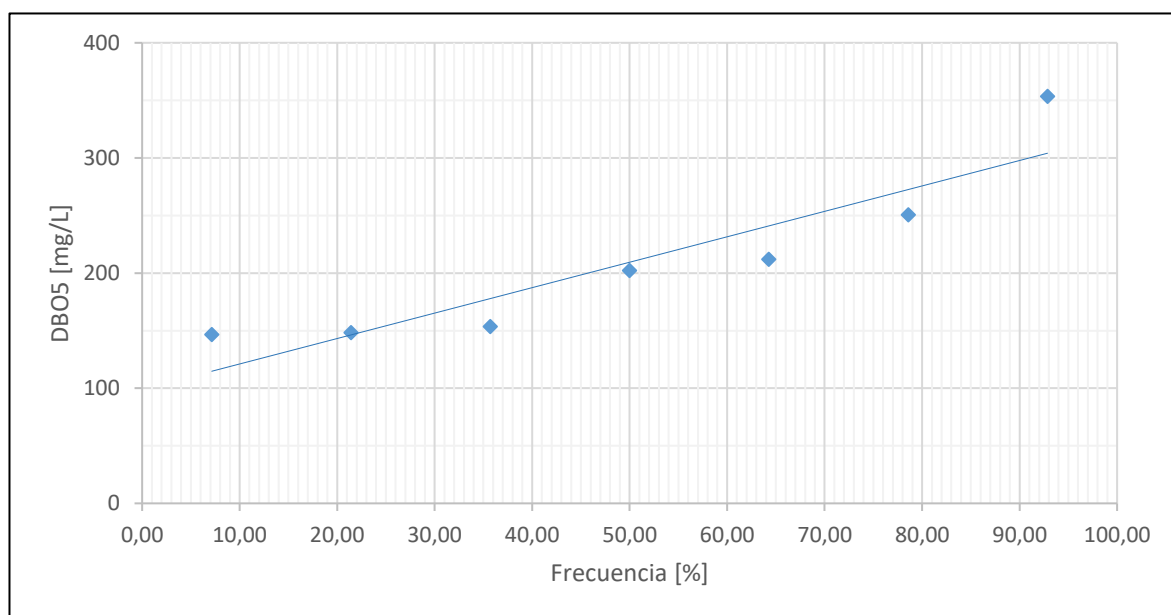


Figura 6 Gráfica de propabilidad para DBO₅.

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

4.6 Estimación de la población

Para el diseño se determinó el crecimiento poblacional mediante los datos obtenidos desde el Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia de San José de Ayora, y verificados en el portal web del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC).

Una vez obtenido los datos se procedió a utilizar la fórmula del crecimiento poblacional geométrico, en el software de hojas de cálculo Excel, determinando la población para el 2045, resultados que se detallan en la Tabla 9.

$$P_f = P_0(1 + i)^n$$

P_f : Población final

P_0 : Población inicial

i : tasa de crecimiento

n : número de años

Tabla 9 Crecimiento poblacional de la parroquia de San José de Ayora, con respecto al crecimiento poblacional del cantón Cayambe

Año	Población	Tasa de crecimiento	P _f 2018	P _f 2020	P _f 2030	P _f 2040	P _f 2045
1950	25244	0.020598824	100996	105199	128992	69970	175142
1962	26845	0.024501197	104127	109292	139223	67350	200170
1974	34162	0.02590903	105277	110803	143100	66431	210025
1982	41740	0.026066103	105406	110973	143539	66330	211154
1990	46938	0.030615975	109204	115993	156819	63459	246520
2001	69800	0.023189993	103065	107901	135702	68218	191396
2010	85795	-	-	-	-	-	-
Población San José de Ayora			13398	14027	17641	8868	24881

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

4.7 Análisis estadístico del caudal de agua residual

Se procedió con la determinación del caudal de agua residual actual que posee la parroquia desde la fórmula de la dotación de agua, descrita a continuación:

$$\text{dotación} = \frac{Q_{AR}}{P_{2018}}$$

dotación: dotación de agua, [L/hab * día]

Q_{AR} : Caudal de agua residual medido, [m³/día]

P_{2018} : Población actual, [hab]

El caudal de agua residual se determinó mediante análisis estadístico de acuerdo la metodología de Romero Rojas (2002), páginas. 113 a 116, en el apartado de “*Métodos de Análisis*” con la ayuda del software de hojas de cálculo, Excel.

Tabla 10 Análisis de caudales

Muestra (m)	Caudal, Q [m ³ /día]	frecuencia (f%)
1	375.98	7.14
2	402.23	21.43
3	431.35	35.71
4	453.78	50.00
5	488.69	64.29
6	504.08	78.57
7	506.15	92.86

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

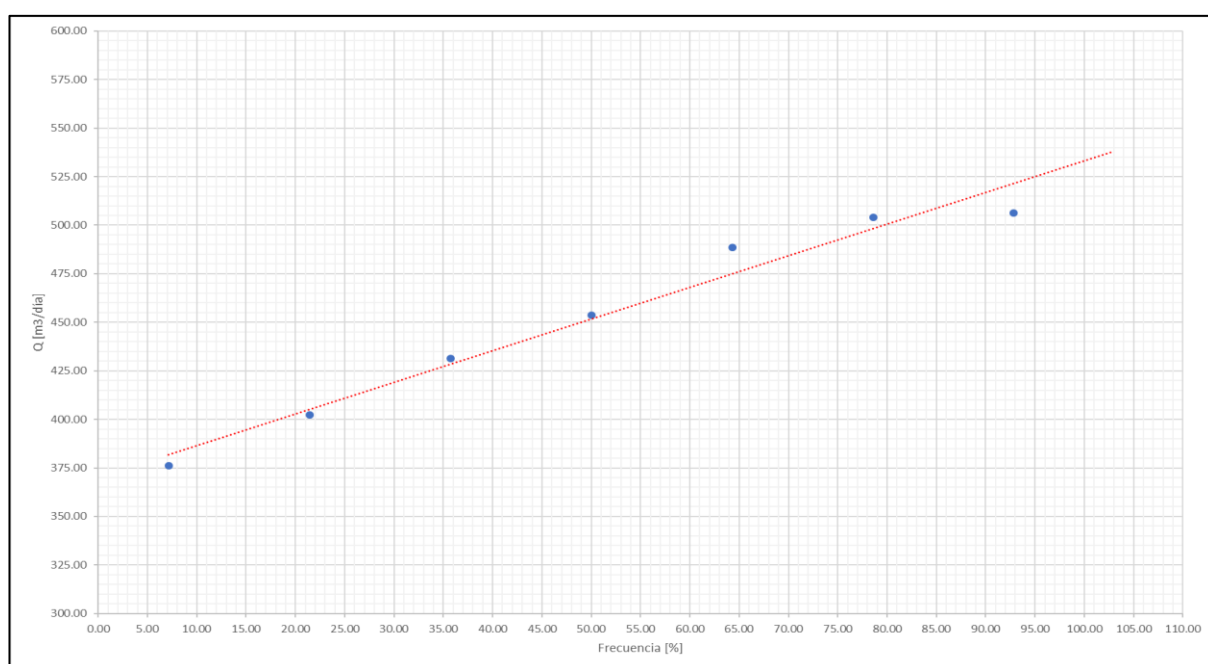


Figura 7. Diagrama para el análisis de caudales, Caudal vs. Frecuencia, escala logarítmica.

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

A través del gráfico y la ecuación de la recta se determinó el valor del caudal con la frecuencia del 95%. Una vez obtenido el caudal de agua residual con respecto a la

dotación para el presente año, se procedió a determinar el valor del caudal de agua residual para la población del año 2045, a través de la siguiente fórmula:

$$Q_{AR} = \text{dotación}_{2018} * P_{2045}$$

Q_{AR} : Caudal de agua residual, [m³/día]

dotación_{2018} : agua residual con respecto a la dotación del 2018, [L/hab*día]

P_{2045} : Población estimada para el 2045, [hab]

4.8 Diseño de la criba

Cabe mencionar que el canal que conduce el agua residual es el actual ingreso a la laguna de oxidación, mismo que será reemplazado por otra estructura en caso de la implementación de alcantarillado diferenciado.

El diseño de la criba se realizó utilizando como referencia la ecuación que se encuentra en Metcalf & Eddy (2003), página. 326, para pérdidas en rejilla, en “*Tamices de malla fina*”, de la expresión clásica para orificios, relacionándola con la fórmula del área del rectángulo y el área del triángulo rectángulo de 45°, como se detallan a continuación

$$h = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{c * Ae} \right)^2$$

h: altura, [m]

g: gravedad, [9,81 m/s²]

Ae: Área específica, [m]

c: coeficiente de descarga [0,003]

Q: Caudal de agua residual, [m³/día]

$$Ae = L * a$$

Ae: Área específica, [m²]

L: largo, [m]

a: ancho, [m]

Donde por deducción a través del teorema de Pitágoras se obtuvo la siguiente ecuación:

$$h = \frac{L}{1.4142}$$

Entonces se utilizó entonces la expresión:

$$L^3 = \frac{1,4142}{2g} \left(\frac{Q}{c * Ae} \right)^2$$

Para la determinación del número de barrotes se utilizó la expresión, y la Tabla 11 como referencia, ambas indicada en el libro de Romero Rojas (2002), página. 288; descritas a continuación:

Tabla 11 Características de rejillas de barras

Características	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0,5 – 1,5 cm	0,5 – 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 – 7,5 cm	2,5 – 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0 cm	1,5 – 7,5 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°	0°- 30°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s	0,6 – 1 m/s
Pérdida de energía permisible	15cm	15cm

Fuente: Adaptado de Romero Rojas, 2002

$$n = \frac{a - t}{t + b}$$

n: número de barrotes

a: ancho del canal, [m]

t: separación entre barras, 2,5 [cm]

b: ancho de las barras, 1,5 [cm]

4.9 Diseño del sedimentador primario

De acuerdo con los resultados obtenidos en laboratorio para decantación y sedimentación, el tiempo ideal de retención para el tratamiento fue de 21 minutos, que refuerza lo que establece Metcalf & Eddy (2003), página: 407, donde señala que los tanques con tiempos de retención menores a la hora o media hora, suelen ser utilizados como tratamiento previo, en especial a las unidades biológicas del tratamiento.

Por lo tanto, para poder obtener el volumen del tanque se utilizó la siguiente fórmula:

$$V = Q * t_R$$

V: volúmen del Sedimentador primario, [m³]

Q: Caudal de agua residual, [m³/día]

t_R: tiempo de retención, [min]

Para tanques rectangulares la relación longitud/ancho que se utilizó es la sugerida por Romero Rojas (2002), varía entre 3/1 y 5/1 con profundidades que sobrepasan los 2m, utilizando entonces la expresiones de relación

$$5h = 2a = L$$

h: altura, [m]

a: ancho, [m]

L: longitud, [m]

Para el desarenador se diseñó en su parte inferior una tolva de pendiente suave, para la evacuación de los sedimentos (lodos). Para el diseño de la tolva se usó la expresión:

$$M = L * \tan(\alpha)$$

α : ángulo de inclinación para la Tolva, 10°

L: largo del reactor, [m]

M: Lado de la tolva, [m]

Determinadas las dimensiones para la tolva, se procedió a calcular el volumen piramidal y posteriormente el tiempo de vaciado de esta.

$$V_{\text{tolva}} = \frac{a * M * L}{3}$$

V_{tolva} : Volumen piramidal de la tolva, [m³]

$$Q_{\text{sólido}} = Q_{\text{líquido}} * ST$$

$Q_{\text{sólido}}$: Parte del caudal agua residual que contiene sólidos, [m³/día]

$Q_{\text{líquido}}$: Parte del caudal de agua residual que es netamente líquido,
[m³/día]

ST: Cantidad de sólidos totales, [g/L]

$$t_v = \frac{V_{\text{tolva}}}{Q_{\text{sólido}}}$$

t_v : tiempo de vaciado de la tolva, [día]

V_{tolva} : Volumen piramidal de la tolva, [m³]

$Q_{sólido}$: Parte del caudal agua residual que contiene sólidos, [m³/día]

4.10 Diseño de trampa de grasa

Se consideraron los análisis de grasas y aceites realizados en el laboratorio, así como el tiempo de vaciado de esta de 1 día de funcionamiento.

Para determinar sus dimensiones, se encontró primero el volumen de grasas y aceites que hay en el agua residual, a través de la siguiente expresión

$$V_{trampa\ grasa} = t_v * 2C_{GyA}$$

$V_{trampa\ grasa}$: Volumen para la trampa de grasa, [m³]

t_v : tiempo de vaciado de la trampa de grasa, [día]

C_{GyA} : Concentración de grasas y aceites, [ml/L] (se considera el doble por cuestiones de seguridad)

Una vez obtenido el volumen de grasa, se procedió mediante las siguientes relaciones de tamaño a calcular las dimensiones del tanque que alberga a la trampa de grasa.

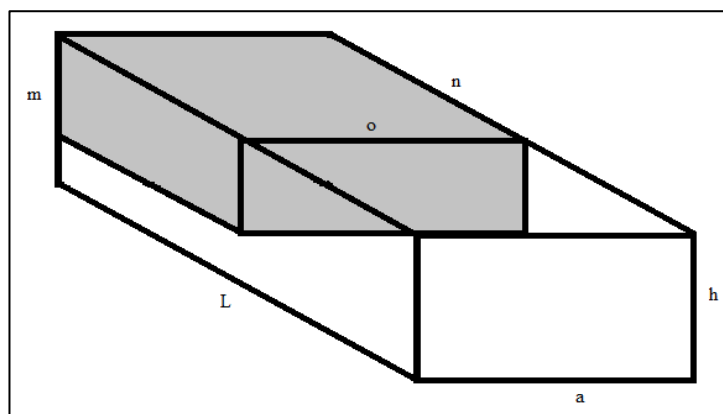


Figura 8. Geometría de la trampa de grasa
Fuente: Arrieta & Chica, 2019

Se utilizó la relación longitud/ancho para diseño de tanques mencionada con anterioridad, según Romero Rojas (2004).

$$L = 2a = 3h$$

h: altura, [m]

a: ancho, [m]

L: longitud, [m]

$$V_{\text{trampa grasa}} = o * m * n$$

$V_{\text{trampa grasa}}$: Volumen de la trampa de grasa

$$m = 2/3h$$

$$n = 2/3/L$$

$$o = a$$

4.11 Diseño del tanque de homogenización

Para determinar el volumen del tanque de homogenización se realizó el procedimiento sugerido en Mihelcic & Zimmerman (2011), páginas: 471 a 472, en el apartado de ecualización de flujo, para este caso se detalla en la Tabla 12 los valores utilizados.

Tabla 12 Análisis de flujo acumulado para dimensionamiento del tanque Homogenizador

Muestra (m)	Volumen [m ³]	Volumen Acumulado [m ³]
1	21.0896309	21.0896309
2	21.0035006	42.0931315
3	20.3619910	62.4551225
4	18.9075630	81.3626855
5	17.9730404	99.3357259
6	16.7597765	116.0955025
7	15.6657963	131.7612988

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

Se aplicó la fórmula de flujo acumulado por hora durante el periodo sugerido y luego, se determinó el volumen de afluente promedio acumulado, siguiendo la misma metodología

$$[\text{flujo acumulado}] = V_{M-1} + V_{1-2}$$

$$[\text{flujo promedio}] = \frac{[\text{flujo acumulado}]}{24 \text{ h}}$$

Finalmente se procedió a ajustar las mediciones para utilizar la gráfica mencionada en Metcalf & Eddy (2003), página: 336, que se muestra en la Figura 9 de acuerdo a los datos obtenidos para el proyecto.

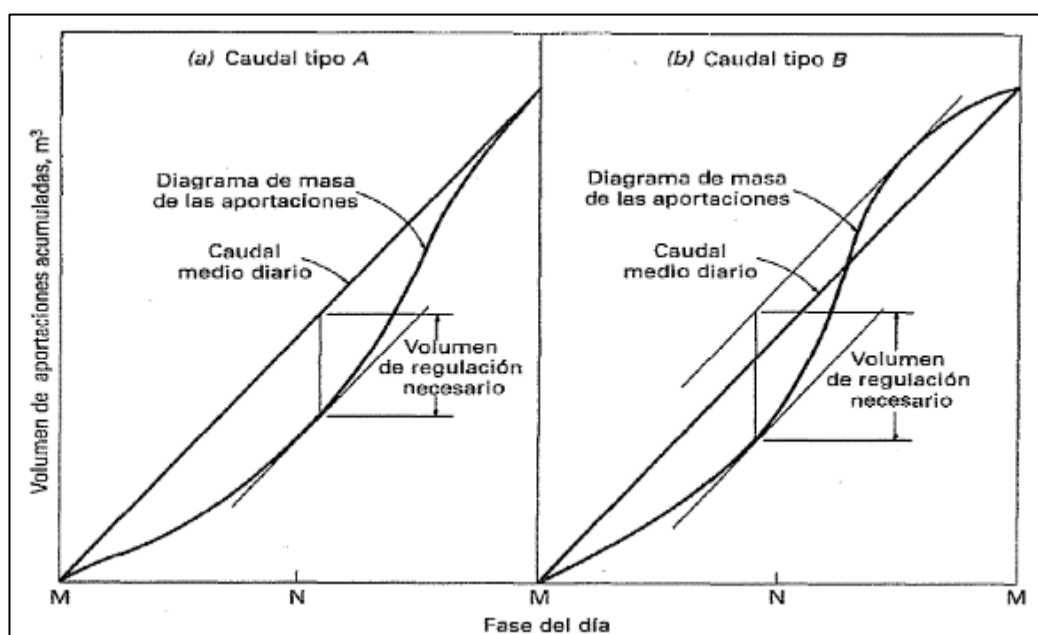


Figura 9 Diagramas de masa esquemáticos para la determinación del volumen de homogeneización necesario para tipos de variación de caudal.

Fuente: Metcalf & Eddy, 2003

Para el tanque de homogenización se consideró un tiempo de retención de 6 horas, para que cumpla con su función se deberá disponer de un sistema de aireación y mezcla, así como estabilizar el caudal. La expresión utilizada que se utilizó para su diseño fue:

$$V = Q * t * f$$

V: Volumen del tanque de homogenización, [m³]

Q: Caudal de agua residual, [m³/día]

t: Tiempo de retención, [h]

f: factor de seguridad

Y el dimensionamiento se realizó con la expresión

$$L = 2a = 3h$$

4.12 Determinación de sistema de aireación

Para el sistema de aireación se determinó en función del caudal de aire necesario de acuerdo a la DBO₅ que contiene el agua residual, para lo cual se utilizó la expresión adaptando la metodología sugerida por Metcalf & Eddy (2003).

$$Q_{\text{aire}} = Q * [DBO] * \varepsilon$$

Q_{aire}: Caudal de aire, [kg/día]

Q: Caudal de agua residual, [$\frac{m^3}{día}$]

DBO₅: dato de DBO₅, [mg/L]

ε: Eficiencia; (95%)

Una vez obtenida la cantidad de oxígeno a la entrada del sistema, se realizó conversión de unidades, para poder determinar el nivel de oxígeno necesario a la salida del sistema a través de la expresión, en CFM como unidades de caudal:

$$\frac{m_{\text{aire}}^3}{0,05 * 0,21 * 1,1\text{kg}} * \frac{1\text{CFM}}{0,02832}$$

Posteriormente se determinó la capacidad de los difusores de aire, de $500\text{m}^3/\text{h} = 294,29 \text{ CFM}$.

La división del aire necesario sobre el caudal proporcionado por cada blower permitió conocer la cantidad de blowers de aire esenciales para el sistema.

Y se determinó el número de aireadores necesarios basándonos en la Figura 10 de Alibaba.com (n.d.), que describe las pérdidas de presión (Pressure loss), vs. Aireación (Aeration).

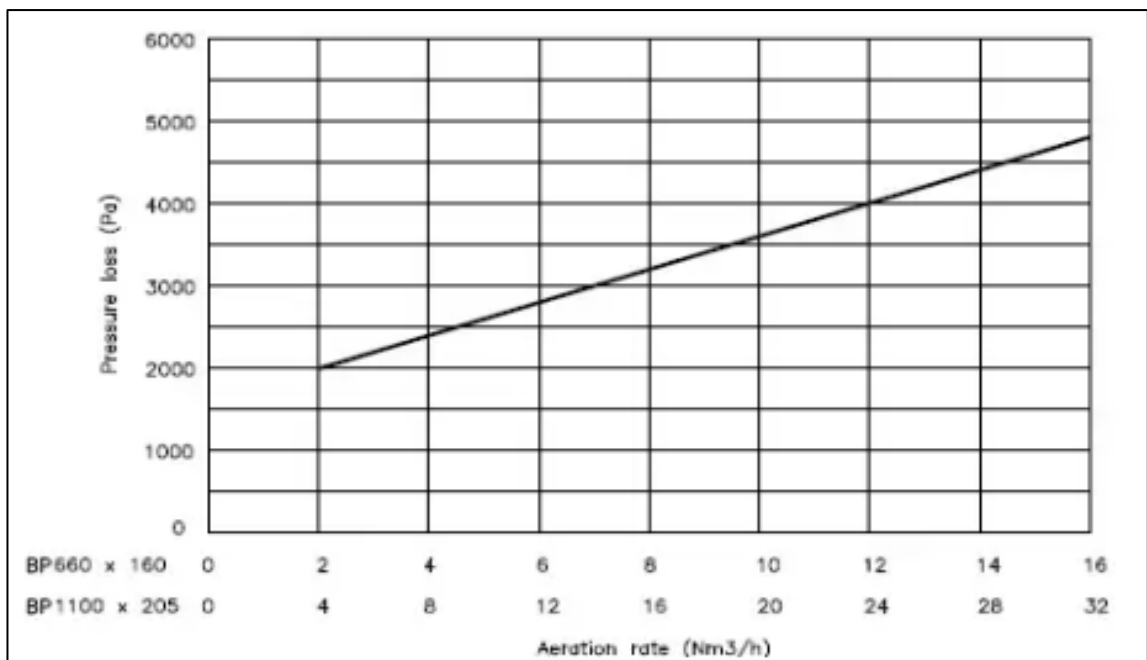


Figura 10 Relación Pérdida de presión vs. Rango de aireación
Fuente: Alibaba.com, s. f.

4.13 Diseño del tanque aireador

Para el diseño del tanque aireador se tomó como partida la determinación del volumen del tanque mediante la fórmula que se utiliza para sistemas con recirculación, que se encuentra en Romero Rojas (2004), página 450.

$$V = \frac{\theta_c * Q * Y * (S_0 - S)}{X * (1 + k_d * \theta_c)}$$

V: volumen del tanque, $[m^3]$

θ_c : Tiempo de retención celular, [día]

Q: caudal de agua residual, $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

Y: Coeficiente de producción de crecimiento o relación de masa [mg SSV/mg DQO]

So: Concentración del afluente, $\left[\frac{mg\ DQO}{L}\right]$

S: Concentración del sustrato que sale del aireador, $\left[\frac{mg\ DQO}{L}\right]$

X: Concentración de sólidos suspendidos volátiles, $\left[\frac{mg\ SSV}{L}\right]$

k_d : coeficiente de mortalidad endógeno, $[día^{-1}]$

Y el dimensionamiento se utilizó la expresión, utilizada anteriormente.

$$L = 2a = 3h$$

Para la determinación del tiempo de retención, se usó la ecuación

$$t = \frac{V}{Q}$$

t: tiempo de retención

V: volumen del tanque, $[m^3]$

Q: caudal de agua residual, $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

4.14 Diseño del sedimentador secundario

El diseño de este tanque se realizó de acuerdo a la metodología explicada en Romero Rojas (2004), página. 644; utilizando además la tabla de parámetros de diseño, representada en la Tabla 13.

Tabla 13 Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios

Tipo de tratamiento	Carga superficial [m/d]		Carga de sólidos [Kg/d.m ²]		Profundidad [m]
	Caudal promedio	Caudal pico	Caudal promedio	Caudal pico	
Sedimentación secundaria	16 – 29 <34	40 – 65 <65	100 - 150	245	3,7 – 4,6
Sedimentación secundaria	8 - 33	29 - 49	23 - 164	164 – 234	3 - 6
Sedimentación después de filtro percolador	16 - 24	41 – 49	-	-	3 – 3,7
Sedimentación después de lodos activados (excluyendo aireación prolongada)	16 - 32	41 – 49	98 – 147	245	3,7 – 4,6
Sedimentación después de aireación prolongada	8 - 16	32	98 – 147	245	3,7 – 4,6

Fuente: Romero Rojas, 2002. pp. 644

Se determinó el área del sedimentador para caudal promedio afluente de la planta.

$$A = \frac{Q}{\bar{Q}_{CS}}$$

A: Área del sedimentador, [m²]

Q: Caudal de agua residual, $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

\bar{Q}_{CS} : Caudal promedio (carga superficial), $\left[\frac{m}{día}\right]$. Valor referencial utilizado

24 m/día.

Se calculó del caudal pico afluente al sedimentador secundario

$$Q_P = (2 + 1) * Q$$

Q_P : Caudal pico afluente al sedimentador secundario, $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

Q : Caudal de agua residual, $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

Se calculó el área del sedimentador para caudal pico

$$A = \frac{Q_P}{Q_{PCS}}$$

A : Área del sedimentador, $[m^2]$

Q_P : Caudal pico afluente al sedimentador secundario, $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

Q_{PCS} : Caudal pico (carga superficial), $\left[\frac{m}{día}\right]$. Valor referencial utilizado 60 m/d.

Se calculó el flujo pico de sólidos

$$Q_{PS} = Q_P * X$$

Q_{PS} : Flujo pico de sólidos, $\left[\frac{kg}{día}\right]$

Q_P : Caudal pico afluente al sedimentador secundario, $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles, $\left[\frac{mg\ SSV}{L}\right]$

Se calculó el área de sedimentación requerida por carga de sólidos.

$$A = \frac{Q_{PS}}{C_{PS}}$$

A : Área de sedimentación requerida, $[m^2]$

Q_{PS} : Flujo pico de sólidos, $\left[\frac{m^3}{día}\right]$

C_{PS} : Carga pico de sólidos, $\left[\frac{\text{Kg}}{\text{día} \cdot \text{m}^2}\right]$, valor referencial utilizado 245 Kg/día.m²

Se calculó el volumen del sedimentador para una profundidad de 3m.

$$V = A * h$$

A: Área de sedimentación requerida para caudal pico, [m²]

Se adoptó, como área de diseño el valor del caudal pico, y de acuerdo con este se calculó el diámetro del sedimentador, a partir de la fórmula del volumen del cono. Esta estructura cónica fue seleccionada debido a que su geometría facilita la sedimentación de las partículas.

Para su construcción se deberá proceder primero con una estructura cilíndrica que posteriormente se podrá implementar en la parte interna del tanque, el sedimentador de forma cónica.

$$V = \frac{\pi * r^2 * h}{3}$$

V: Volumen del cono, [m³]

r: radio del cono, [m]

h: altura del cono, [m]

Se determinó la carga de rebose sobre el vertedero perimetral para el caudal pico.

$$CV = \frac{Q_P * 1000}{\pi * \emptyset * 86400}$$

CV: Carga de rebose, $\left[\frac{\text{L}}{\text{sm}}\right]$, el valor de CV debe ser menor a 4,5.

Q_P : Caudal pico afluente al sedimentador secundario, $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right]$

\emptyset : diámetro del sedimentador. [m]

Finalmente, se obtuvo el tiempo de retención a través de la siguiente ecuación:

$$\theta = \frac{V * 24}{Q}$$

θ : tiempo de retención

V: Volumen del sedimentador secundario, [m³]

Q: Caudal de agua residual, $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right]$

4.15 Diseño del tanque anóxico

Para el tanque anóxico se consideró un tiempo de retención de 3 horas, que se determinó a través de pruebas de laboratorio, tiempo que permitirá cumplir con la función del proceso anóxico, que transforma el nitrógeno de los nitratos. La expresión que se utilizó para su diseño es:

$$V = Q * t$$

V: Volumen del tanque anóxico, [m³]

Q: Caudal de agua residual, $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{día}}\right]$

t: Tiempo de retención, [h]

Y el dimensionamiento se hizo de acuerdo con la expresión

$$L = 2a = 3h$$

4.16 Diseño del tanque de cloración

Debido a los estándares de construcción de este tipo de tanques, se recomendó utilizar una altura de 2m, debido a que en el país los encofrados para construcción tienen como medida estándar este valor; por lo tanto, se aplicó la siguiente formula:

$$V = Q * t$$

V: volumen del tanque de cloración, [m³]

Q: Caudal de agua residual, [m³/día]

t: Tiempo de retención

Y, con la fórmula para el volumen del cilindro se determinó el radio para este.

$$V = \pi * r^2 * h$$

4.17 Determinación de la cantidad de cloro

Para determinar la cantidad de cloro necesaria, se utilizó la ecuación original desarrollada para la reducción de organismos coliformes, que menciona Metcalf & Eddy (2003), página: 1249

$$\frac{N_t}{N_0} = (1 + 0,23 * C_t * t)^{-3}$$

$$C_t = \frac{\sqrt[3]{\frac{N_t}{N_0}} - 1}{0,23 * t}$$

N_t: número de organismos coliformes en el instante t, [UFC/100 mL]

N₀: número de organismos coliformes en el instante t₀, [UFC/100 mL]

C_t: cloro residual medido en el instante de tiempo t, [mg/L]

t: tiempo de permanencia, [min]

4.18 Diseño de lecho de secados

Para diseñar el lecho de secado de lodos se realizó previamente la determinación de tasa de lodos activos siguiendo la metodología de Romero Rojas (2004), páginas:

490 a 499 “Diseño de un proceso de lodos activos”, y posteriormente se utilizaron los datos obtenidos de forma teórica.

Los resultados que se obtuvo en cuanto a tasa de lodos activos se ven reflejados en la Tabla 14 y Tabla 15, con su respectiva simbología y unidades.

Tabla 14 Tasa de lodos activos

Experiencia	DQO afluente, [mg/L]	DQO efluente, [mg/L]	tiempo de retención, [horas]	Tiempo de retención celular	mg SSVLM/L
	S_0	S	Θ	Θ_c	X
1	2828	10	14.4	23.4	128
2	2828	13	9	16.2	125
3	2828	18	7.2	12.15	133
4	2828	30	4.95	9.9	129
5	2828	41	4.95	4.95	121

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

Tabla 15 Cálculos correspondiente para determinación de tas de lodos activos

$S_0 - S$	$X \theta_c$	$X\theta_c/(S_0-S)$	$1/S$	$1/\theta_c$	$(S_0-S) / X\theta_c$
mg/L	mg SSV*d/L	d	L/mg	d^{-1}	d^{-1}
2818	2995.200	1.063	0.100	0.043	0.941
2815	2025.000	0.719	0.077	0.062	1.390
2810	1615.950	0.575	0.056	0.082	1.739
2798	1277.100	0.456	0.033	0.101	2.191
2787	598.950	0.215	0.024	0.202	4.653

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

Se procedió a elaborar el gráfico $X\theta_c/(S_0-S)$ vs. $1/S$, donde se obtuvo la recta correspondiente.

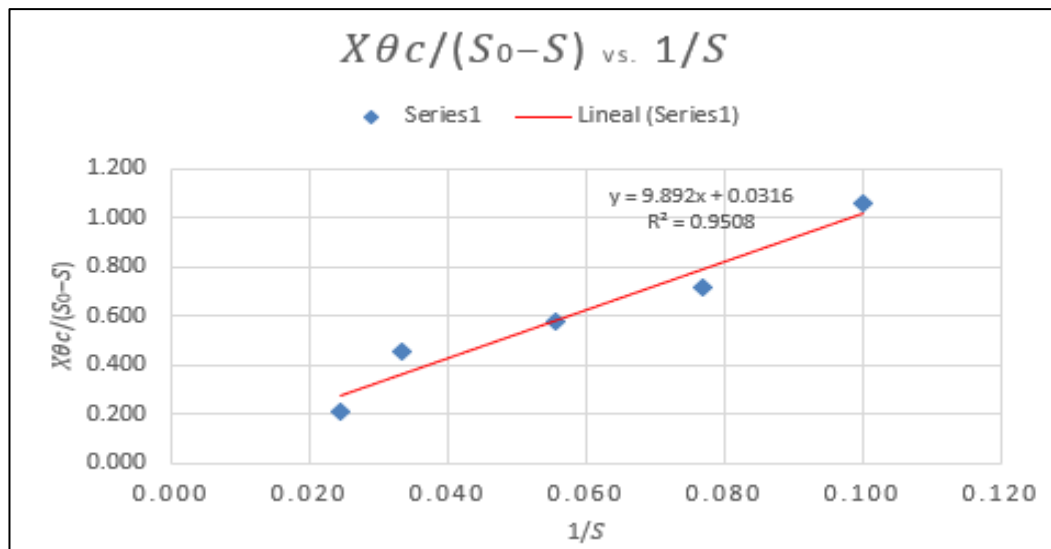


Figura 11 Grafica comparativa de $X\theta_c/(S_0-S)$ vs. $1/S$
Elaborado por: Arrieta & Chica. 2019

A través de una regresión lineal se obtuvo los valores de $1/k=0,03159411$ y $K_S/k=0,89201414$, $k=31,651473$ y $K_S=313,096826$.

Se procedió a elaborar una gráfica $1/\theta_C$ vs. $(S_0-S)/X\theta_c$, para obtener la recta de valor de pendiente igual a Y , y la ordenada es k_d .

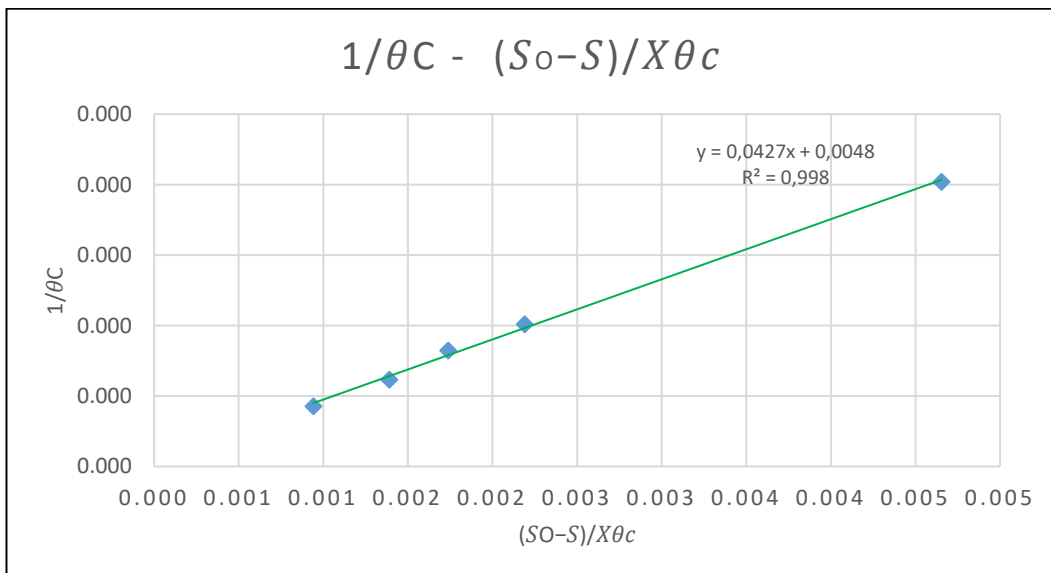


Figura 12 Gráfica comparativa de $1/\theta_C$ vs. $(S_0-S)/X\theta_c$.
Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

Entonces de la figura se obtuvo: $k_d=0,0048436$ [dia^{-1}], $Y= 0,0426593$ [mg SSV/DQO].

Finalmente, de la ecuación $\mu_m = kY$, se obtuvo como resultado que $\mu_m = 1,35022979$ (máxima tasa de crecimiento específico, [tiempo⁻¹])

Luego se determinó la tasa de producción de lodos a través de la siguiente ecuación de Romero Rojas (2004), página: 492.

$$P_x = \frac{Y * Q * (S_0 - S_e)}{1 + k_d * \theta_c}$$

P_x: Tasa de producción de lodos, [g/día]

θ_c: Edad de lodos, [día]

S₀: DBO₅ afluente determinada, [mg/L]

S: DBO afluente deseada, [mg/L]

Q: Caudal efluente, [m³/día]

k_d: coeficiente declinación endógena, [día⁻¹]

Y: Coeficiente de producción de crecimiento o relación de masa [mg SSV/DBO] o [mg SSV/DQO]

El diseño de esta parte de la infraestructura consideró ciertos datos climatológicos como la radiación solar, la temperatura y la temperatura ebullición del agua, que se encontró en el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI, y en el Plan de Ordenamiento Territorial de la Parroquia.

La expresión que se utilizó permitió obtener el área necesaria para el lecho de secados a través de la conversión de unidades, y es la siguiente:

$$A_{LS} = P_x * 0,45 * (T_e - T) * R_s * 2$$

A_{LS}: Área del Lecho de Secado, [m²]

P_x: Tasa de producción de lodos, $\left[\frac{\text{Ton}}{\text{día}}\right]$

T_e : Temperatura del lugar, [°C]

T : Temperatura de ebullición, [°C]

R_s : Radiación solar del lugar, $\left[\frac{W}{m^{-2}}\right]$

Además para el diseño se tomó en cuenta las recomendaciones de “*Lecho de secado en arena*” de Romero Rojas (2004) que se muestran en la Tabla 16, sobre los criterios de diseño para lechos de secado de arena.

Tabla 16 Criterios de diseño para lecho de secado de arena

Características	Criterio
Área requerida	
Lodo primario	0,09 m ² /c
Lodo primario y filtro percolador	0,15 m ² /c
Lodo primario y lodos activos	0,28 m ² /c
Lodos precipitados químicamente	0,18 m ² /c
Otros lodos	0,1 – 0,25 m ² /c
Carga de sólidos secos	
Lodo primario	134 kg/m ² , año
Lodo primario y filtro percolador	110 kg/m ² , año
Lodo primario y lodos activos	73 kg/m ² , año
Lodos precipitados químicamente	110 kg/m ² , año
Altura sobre la arena	0,50 – 0,90 cm
Diámetro de tubería de drenaje principal	> 0,10 m
Pendiente de tubería de drenaje principal	> 1%
Distancia entre drenajes principales	2,5 – 6 m
Distancia entre tuberías laterales de drenaje	2,5 – 3 m
Espesor de grava	20 – 46 cm
Tamaño de grava	3 – 25 mm
Profundidad de arena	20 – 46 cm
Coefficiente de uniformidad de la arena	<4
Tamaño efectivo de la arena	0,3 – 0,75 mm
Ancho del lecho para limpieza manual	7,5 m
Longitud del lecho de secado	< 60 m
Decantadores	Se recomienda sobre el perímetro
Placa de salpicamiento	0,9 x 0,9 x 0,1 m, para control de erosión de la arena

Rampas de acceso en concreto	A lo largo del eje central de los lechos para remoción de la pasta con volquetas
Cobertura	En plástico reforzado de fibra de vidrio
Profundidad de aplicación	20 – 40 cm, generalmente
Operación	Para remoción manual la pasta debe contener un 30 a 40% de sólidos. Se puede palear con un rastrillo tipo pala con varias puntas separadas a 2,5 cm entre sí.
Control	Para control de moscas se atacan las larvas con bórax y borato de calcio, los cuales no son peligrosos para el hombre ni para animales domésticos, rociando el lodo especialmente entre las grietas.

Fuente: Romero Rojas, 2002, pp: 833

*C: Carga del lecho de secados

Entonces se estableció el esquema para esta estructura, que se muestra a través del siguiente bosquejo, Figura 13 y el lecho típico de secado de arena según Romero Rojas, (2004), página: 832, en la Figura 14.

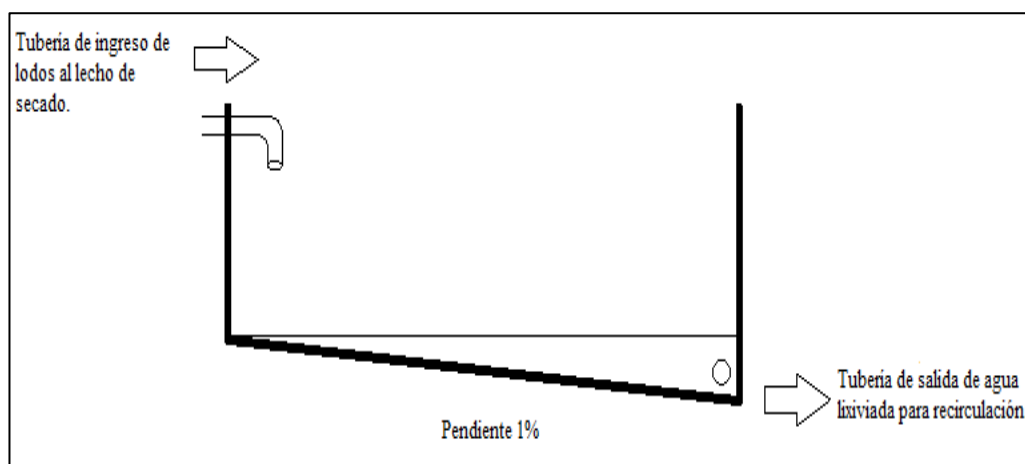


Figura 13 Geometría para el lecho de secado de lodos.
Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

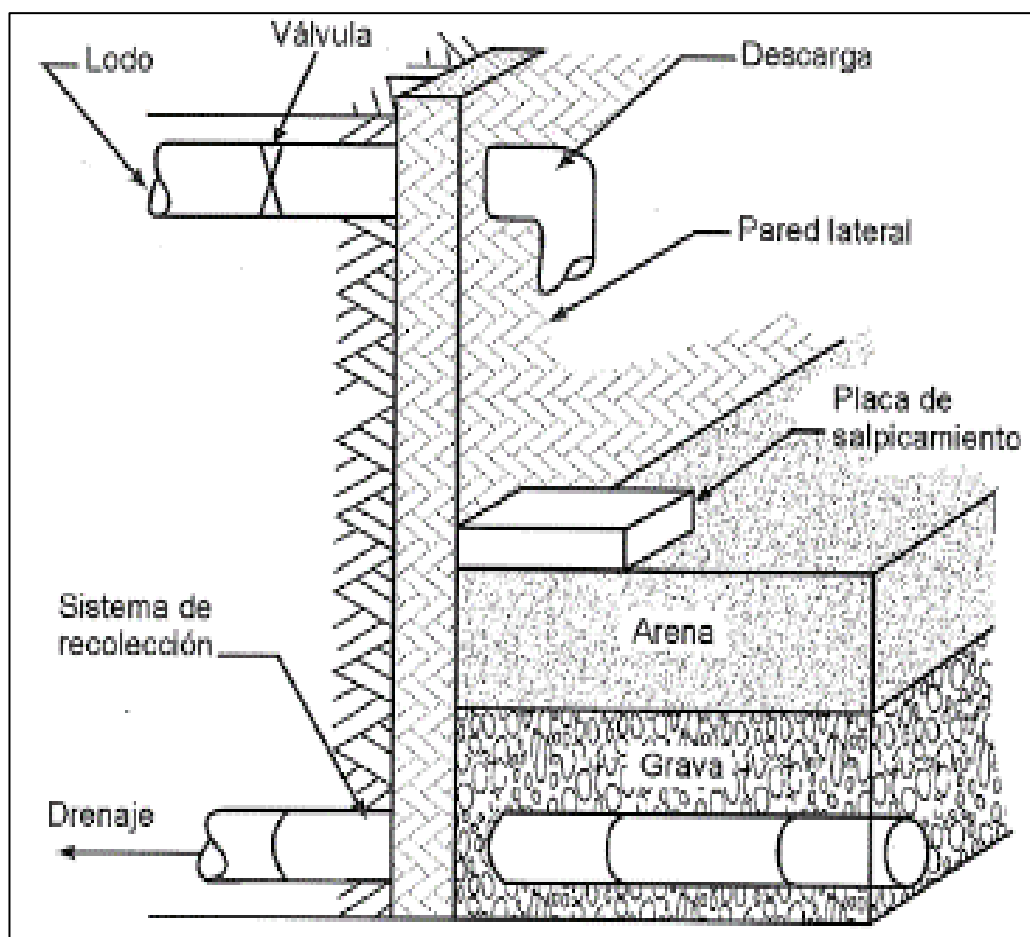


Figura 14 Lecho típico de secado de arena.
Fuente: Romero Rojas, 2002

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

Los resultados obtenidos se resumen a través de las siguientes tablas, que corresponden a los apartados de calidad de agua y dimensionamiento.

5.1.1 Resultados para análisis de calidad de agua

5.1.1.1 Parámetros básicos

Los resultados que se obtuvieron a través de los equipos de turbidez y equipos de sonda se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17 Resultados de análisis de calidad de agua, parámetros básicos

Muestra	Fecha análisis	pH	POR, [mV]	Conductividad, [ms/cm]	OD, [mg/L]	Turbidez, [NTU]
1	6/11/2018	10.65	187.5	0.769	0.19	169.53
2	15/11/2018	5.58	47	0.911	0.56	448.3
3	4/12/2018	6.67	170	1.115	0.22	236.4
4	18/12/2018	5.72	54.67	1.153	0.87	981.07
5	2/1/2019	6.33	30	1.581	0.83	1100
6	4/1/2019	6.8	-18	0.95	0.74	171.23
7	9/1/2019	7.05	-22	1.008	0.93	115.9

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.1.2 Sólidos en el agua

Los resultados de los análisis para sólidos realizados en el laboratorio se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18 Resultados de análisis de calidad de agua, sólidos en el agua

Muestra	Fecha análisis	ST, [mg/l]	SSed, [ml/l]	SST, [mg/l]	Grasas y aceites [ml/l]
1	6/11/2018	203	2	135	1
2	15/11/2018	264	20	125	1
3	4/12/2018	240	10	186	2
4	18/12/2018	313	30	123	1
5	2/1/2019	296	40	179	1
6	4/1/2019	198	2	152	0.05
7	9/1/2019	200	15	168	0.5

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.1.3 Nutrientes presentes

La concentración de nutrientes presente en el agua residual se determinó a través de fotómetro, siguiendo la metodología del manual de usuario, sus resultados se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19 Resultado de análisis de calidad de agua, nutrientes presentes en el agua residual

Muestra	Fecha análisis	Fosfatos [mg/L]	Nitritos [mg/L]	Nitratos [mg/L]
1	6/11/2018	0.34	0	0.26
2	15/11/2018	0	0	0
3	4/12/2018	0.83	0	0
4	18/12/2018	0.63	3	0.97
5	2/1/2019	0	0	0.36
6	4/1/2019	0.76	0	0
7	9/1/2019	2.5	1	0.87

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.1.4 Microbiología del agua residual

La microbiología del agua residual se obtuvo a través de un análisis en los laboratorios de suelo y agua de la Universidad Politécnica Salesiana, el resumen de estos consta en la Tabla 20, y el Anexo 6.

Tabla 20 Resultado del análisis microbiológico de agua residual para coliformes

Parámetro	Valor determinado
Coliformes Totales	$4,7 \cdot 10^8$ ufc /100mL
Coliformes Fecales	$2,4 \cdot 10^6$ ufc /100mL

Fuente: adaptado de Informe de laboratorio de suelos y agua, Universidad Politécnica Salesiana

5.1.2 Resultados para dimensionamiento

5.1.2.1 Dimensiones criba

En la Tabla 21, se muestran las dimensiones que se determinaron de acuerdo al caudal de diseño.

Tabla 21 Dimensiones para la criba

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
L [m]	Largo	1,00
a [m]	Ancho	1,00
h [m]	Altura	0,70
Ae [m^2]	Área Específica	0,70
Nºb [u]	Número de barrotes	24

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.2.2 Dimensiones sedimentador primario

La Tabla 22, muestra las dimensiones del sedimentador primario que se determinaron de acuerdo al caudal de diseño y las características del agua residual en cuanto al problema de la excesiva cantidad de sólidos; y que cumple con las funciones de pretratamiento.

Tabla 22 Dimensiones para el sedimentador primario

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
L [m]	Largo	5,22
a [m]	Ancho	2,61
h [m]	Altura	1,04
V [m^3]	Volumen	14,21
M [m]	Lado de la tolva	0,92
Vp [m^3]	Volumen Piramidal	4,18
t _v [días]	Tiempo de vaciado	20,66

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.2.3 Dimensiones trampa de grasas

En la Tabla 23, se muestran las dimensiones para la trampa de grasa y su subestructura de caja pequeña para la retención de grasas y aceites presentes en el agua residual analizada.

Tabla 23 Dimensiones para la trampa de grasas

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
L [m]	Largo caja grande	2,97
a [m]	Ancho caja grande	1,48
h [m]	Altura caja grande	0,99
m [m]	Ancho caja pequeña	0,66
n [m]	Largo caja pequeña	1,98

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.2.4 Sistema de aireación y dimensiones

- **Sistema de aireación**

El Sistema de aireación se incluye dentro de la estructura del tanque que lleva el mismo nombre, para este sistema se determinaron las siguientes características, detalladas en la Tabla 24, y en la Tabla 25 se detallan las dimensiones para esta estructura.

Tabla 24 Información para el sistema de aireación

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
Qa [CFM]	Caudal de aire	764,30
N° Blowers	Número de Blowers	3
N° Aireadores	Número de aireadores	60

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

- **Dimensiones tanque de aireación**

Tabla 25 Dimensiones para el tanque de aireación

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
L [m]	Largo	8,11
a [m]	Ancho	4,06
h [m]	Altura	2,70
V [m ³]	Volumen	53,41
M [m]	Lado de la tolva	0,92
t _v [min]	Tiempo de vaciado	80

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.2.5 Dimensiones tanque de homogenización

En la Tabla 26, se muestran las dimensiones sugeridas para el tanque de homogenización, que se determinaron en función de la medición de caudales.

Tabla 26 Dimensiones para el tanque de homogenización

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
L [m]	Largo	8,12
a [m]	Ancho	4,06
h [m]	Altura	2,70
V [m ³]	Volumen	53,62
M [m]	Lado de la tolva	0,92
t _v [h]	Tiempo de vaciado	6

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.2.6 Dimensiones sedimentador secundario

Las dimensiones para el sedimentador secundario se muestran en la Tabla 27, estructura que se determinó en función de las características del agua residual para disminuir la excesiva cantidad de sólidos sedimentables presentes.

Tabla 27 Dimensiones para el sedimentador secundario

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
h [m]	Altura	3
∅ [m]	Diámetro	12,44
V [m ³]	Volumen	162
t _R [h]	Tiempo de retención	3

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.2.7 Dimensiones tanque anóxico

Se determinaron las dimensiones, que se detallan en la Tabla 28 para el tanque anóxico, utilizando como parámetro de diseño, los resultados obtenidos en el análisis de nutrientes.

Tabla 28 Dimensiones para el tanque anóxico

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
L [m]	Largo	10,68
a [m]	Ancho	4,75
h [m]	Altura	2,40
V [m ³]	Volumen	121,85
t _v [h]	Tiempo de retención	3

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

5.1.2.8 Dimensiones tanque de cloración

Las dimensiones sugeridas para el tanque de cloración se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29 Dimensiones para el tanque de cloración

Simbología / Unidades	Nombre	Valor
h [m]	Altura	2
∅ [m]	Diámetro	3,60
V [m ³]	Volumen	20,31
t _R [min]	Tiempo de retención	30

Elaborado por: Arrieta & Chica, 2019

Una vez que se obtuvo todos los resultados de dimensionamiento y se realizaron las conexiones entre cada estructura, la planta de tratamiento de aguas residuales planteada ocuparía un espacio de 456,9701 m².

Como producto final, los planos estructurales se muestran en el Anexo 10, que se presentan al final de esta investigación en los formatos correspondientes.

5.2 Discusión

Los resultados obtenidos y el producto final de la investigación satisfacen las necesidades de la parroquia de San José de Ayora en materia de depuración de aguas residuales, al igual que lo otros autores como Calderón Hidalgo (2016), Altamirano Racines (2016) y Cuenca Acaro (2018), quienes plantean alternativas similares en diferentes cantones y comunidades, con una metodología bastante pareja debido a que para Latinoamérica los autores referentes para el diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales son Metcalf (1995); Romero Rojas (2002), quienes han establecido en base a la experiencia una sólida estructura bibliografía

Sin embargo a pesar de tener metodologías similares con González Escobar (2011), sus productos finales canalizan como mejor solución la implementación de un humedal; debido a la población que el maneja, por cuanto al compararla con el presente estudio, no sería de gran utilidad debido a la población mayor que nuestra investigación maneja.

Para Cando Cisneros y Jibaja Robles, (2018), el punto de partida es el diseño del sistema de alcantarillado combinado y su respectivo sistema de depuración. Este es el caso de la parroquia de San José de Ayora, el cual dificulta mucho el posterior tratamiento, en especial en temporada de lluvias, donde parámetros como DBO₅ y DQO disminuyen a cero, quedando el agua residual sin carga orgánica para la alimentación del sistema biológico.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se dimensionó una planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología de lodos activados que permita sustituir el actual tratamiento de aguas residuales de la parroquia San José de Ayora. Esta planta de tratamiento fue diseñada en base a los resultados obtenidos en laboratorio, determinando eficiencias de remoción en cada uno de los parámetros de calidad de agua en las diferentes unidades de tratamiento, que permitió alcanzar valores permisibles bajo la normativa ambiental vigente, responden a los requerimientos que el agua residual necesita para ser descontaminada de forma adecuada, así como con los compromisos, responsabilidades y políticas en materia de ambiente por parte de las autoridades y la comunidad en general.

Los resultados obtenidos en laboratorio permitieron conocer el estado de calidad de agua residual doméstica, que contiene elevadas concentraciones de sólidos, nutrientes y coliformes; que puede darse por la actividad ganadera que se desarrolla en la parroquia. Los análisis de calidad permitieron obtener como valor inicial de DQO 2828 mg/L, posterior a los procesos de tratabilidad se obtuvo un valor de DQO 10 mg/L mismo que se encuentra bajo los límites permisibles en la normativa ambiental vigente (TULSMA Libro VI, Anexo 1), que establece un máximo de DQO 50 mg/L, lo cual indica un correcto funcionamiento de la PTAR. Estos procesos de tratabilidad están respaldados por los análisis de calidad de agua, que permitieron seleccionar el proceso óptimo para cumplir con el objetivo propuesto.

6.2 Recomendaciones

Como principal recomendación se debe tener conocimiento de las condiciones climáticas y meteorológicas del sector antes de realizar la planificación para la etapa de muestreo.

Se recomienda realizar un estudio para la implementación de un sistema de bombeo al final de la planta de tratamiento de aguas residuales, con tecnología de lodos activos que permita reutilizar el agua tratada para las diferentes actividades a desarrollarse dentro del Complejo Integral Agroecológico “San José de Ayora”.

Los lodos provenientes del lecho de secado deben ser sometidos a análisis CRETIB, antes de ser destinados para diversas actividades agroecológicas como compostaje, que permitan beneficiar a las comunidades aledañas y demás actividades que se desarrollan dentro del Complejo Integral Agroecológico “San José de Ayora”.

Se recomienda replantear la PTAR, en caso de darse el cambio de la red de alcantarillado por un sistema diferenciado de conducción, pues evitará que las aguas de lluvia alteren el caudal de tratamiento.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Aguamarket. (s. f.). Lechos de secado. Recuperado 17 de abril de 2019, de <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=1137>
- Albarrán-Zavala, E. (2008). El potencial redox y la espontaneidad de las reacciones electroquímicas. *Latin-American Journal of Physics Education*, 2(3), 336-345. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-10-3> 1532-429X-10-3 [pii]
- Alibaba.com. (s. f.). Eco New Model Fine Bubble Air Diffuser/air Diffuser For Wastewater Treatment/ Air Diffuser For Aquaculture System - Buy Fine Bubble Disc Diffuser,Plate Fine Bubble Aerator,Shrimp Farming Aerator Product on Alibaba.com. Recuperado 9 de mayo de 2019, de https://www.alibaba.com/product-detail/ECO-NEW-Model-fine-bubble-air_60716059865.html?spm=a2700.7724838.2017005.3.18e80fdbpEGF2V
- Altamirano Racines, B. R. (2016). *Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para el barrio San Isidro , parroquia Píntag , cantón Quito , provincia de Pichincha*. Universidad Central del Ecuador.
- Calderón Hidalgo, E. A. (2016). *Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de San Jose de Minas, cantón Quito, provincia Pichincha*. Universidad Central del Ecuador. Recuperado de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/15905/1/T-UCE-0008-CQU-017.pdf>
- Cando Cisneros, J. A., & Jibaja Robles, S. D. (2018). *Diseño del Sistema de Alcantarillado Combinado y Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la zona baja del barrio El Rosario de la Parroquia de Píntag, Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Arte, individuo y sociedad*. Universidad Central del Ecuador.

- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua. (s. f.). Aguas residuales - MOPT. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2015.12.034>
- Chang, J. (2016). Calidad de agua. *Escuela Superior Politecnica del Litoral*.
- Cuenca Acaro, L. E. (2018). *Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Parroquia Tingo la Esperanza, ubicada en el Cantón Pujilí, Provincia de Cotopaxi*. Universidad Central del Ecuador. Recuperado de http://www.presidencia.gob.ec/pdf/DISCURSO_UNIVERSIDAD_CENTRAL.pdf
- de Cárcamo, M. (2017). La contaminación por nutrientes: nitrógeno y fósforo. | Fundación Salvadoreña para el Desarrollo Económico y Social. Recuperado 23 de enero de 2019, de <http://fusades.org/lo-ultimo/blog/la-contaminación-por-nutrientes-nitrogeno-y-fosforo>
- Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond, R. S. y C. Z. (EAWAG/SANDEC). (2018). Lecho de secado sin plantas | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! Recuperado 17 de abril de 2019, de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-saneamiento/tratamiento-semi-centralizado/lecho-de-secado-sin-plantas>
- EMGRISA. (2014). Tipos de residuos: clasificación y características - Emgrisa. Recuperado 11 de enero de 2019, de <http://www.emgrisa.es/publicaciones/tipos-de-residuos/>
- Escobar Tobar, A. D., & Flores Guamán, Ó. A. (2018). *Estudio de factibilidad de la “eco ruta de caminata y bicicleta río San José” y diseño definitivo de la red vial del “Complejo Integral Agroecológico San José de Ayora, cantón Cayambe*. Universidad Politécnica Salesiana. Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16055/1/UPS-ST003780.pdf>

- GAD Ayora. (2015). Actualización Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial de la parroquia San José De Ayora, cantón Cayambe, provincia de Pichincha. *Gobierno Autonomo Descentralizado*, 180.
- González Escobar, F. D. (2011). *Diseño de una Planta de Tratamiento Piloto de Aguas Residuales Domésticas para el Conjunto Residencial Matisse utilizando un Humedal Artificial*. Universidad San Francisco de Quito.
- Gortaire López, G. E. (2015). *Pre-diseño y elaboración de planos de una planta piloto de tratamiento de aguas residuales domésticas con tecnología de lodos activados*. Universidad de Las Américas.
- Hanna Instruments. (s. f.). La medida del potencial redox para el control de la eficiencia en la desinfección del agua. Recuperado 23 de enero de 2019, de <https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/medida-del-potencial-de-oxidacion-reduccion-para-el-control-de-la-eficiencia-de-la-de-2XMk>
- Hanna Instruments. (2010). HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer. Instruction Manual.
- Lara, J., Torres, A., & Baquero, A. (2014). *Estudio de tratabilidad de las aguas residuales en Bogotá con lodos activados: Aspectos de monitoreo en continuo, caracterización detallada, modelación y simulación del proceso*. (J. Lara Borrero, A. Torres, & A. Baquero, Eds.), *Julio 10* (Primera ed). Bogotá. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=DH3_AwAAQBAJ&pg=PA133&dq=TECNOLOGIA+DE+LODOS+ACTIVOS&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj6jajH6u3fAhXotlkKHanHDVMQ6AEIKjAA#v=onepage&q=TECNOLOGIA DE LODOS ACTIVOS&f=false
- Lizarazo, J. M., & Orjuela, M. I. (2013). *Sistemas De Plantas De Tratamiento De*

Aguas Residuales En Colombia, 7-13.

<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

López, C., Buitrón, G., Cervantes, F., & García, H. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*.

<https://doi.org/10.2166/9781780409146>

Manahan, S. E. (2007). *Introducción a la química ambiental*. Editorial Reverté.

Martín García, I., Rodríguez Betancort, R. J., Salas Rodríguez, J. J., Peñate Suárez, B., Pirde Bocado, J. R., & Sardón Martín, N. (2006). *Guía sobre tratamiento de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. (C. de las N. T. del A. CENTA, Ed.) (Primera Ed). Canarias.

Merino Gonzáles, C. F. (2010). *Estudio y selección de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas aplicadas a las cabeceras cantonales con poblaciones menores a 5000 habitantes mediante métodos naturales de la provincia de Loja*. Loja. Recuperado de <http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1343/3/Carlos.pdf>

Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse* (Fourth). New Delhi: McGraw-Hill.

Metcalf, E. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Vol. 1*. (A. García Brage, Ed.) (Tercera Ed). Madrid: McGraw-Hill.

Mihelcic, J. R., & Zimmerman, J. B. (2011). *Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentatibilidad, diseño* (Primera). México D.F.: Alfaomega Group Editor, S.A. de C.V. Recuperado de <http://virtual.alfaomega.com.mx/>

Oropeza García, N. (2006). *Lodos residuales: estabilización y manejo*. *Caos Conciencia* (Vol. 1). Recuperado de http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-

- Polo Cañas, P. (2017). Importancia de la eliminación de NITRÓGENO y FÓSFORO en las EDAR - Pedro Polo Cañas. Recuperado 23 de enero de 2019, de <https://www.aguasresiduales.info/expertos/tribuna-opinion/importancia-de-la-eliminacion-de-nitrogeno-y-fosforo-en-las-edar-eQTd5>
- Ramalho, R. S. (Rubens S., Jiménez Beltrán, D., & Lora, F. de. (2003). *Tratamiento de aguas residuales* (Original). Bogotá: Reverté.
- Resol. (2011). Capacitacion Gestión Integral de Residuos. Recuperado de http://www.resol.com.br/cartilhas/manual_de_gestion_integral_de_residuos.pdf
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teorías y principios de diseño*. (C. Salazar Perdomo & J. Cañas Sepúlveda, Eds.) (Tercera). Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sánchez Proaño, R. G., & García Gualoto, K. J. (2018). Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. *La Granja, Revista de Ciencias de la Vida*, 27(1), 103-111. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08>
- Seoánez Calvo, M. (2012). *Manual de las aguas residuales industriales*. (M. León Alonso, Ed.) (Primera Ed). Madrid.
- Valencia Bonilla, N. T. (2008). *Secado solar de lodos*. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/VALENCIA_2008.SECADO SOLAR DE LODOS.pdf
- Varila, J., & Díaz, F. (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Journal of technology*, 7(issn1692-1399), 2. Recuperado de https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43575223/tratamiento_agu

as_residuales_lodos_activados.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y
53UL3A&Expires=1557784218&Signature=6WngQUHSmL9X%2FNXIlrDu0
cVhlVE%3D&response-content-disposition=inline%3B filename%3DT

Velp Scientifica. (s. f.). Sistema D.B.O. Equipos Velp para determinación
Manométrica de la D.B.O. Manual de Operaciones. Milan: Instrumentación
Científico Técnica, S.L. Recuperado de
<http://www.ictsl.net/downloads/d.b.o.digitalcastellano.pdf>

8. ANEXOS

Anexo 1 Metodología utilizada para análisis de DQO.

1. Seleccione una muestra homogénea. Las muestras que contienen sólidos sedimentables deben homogeneizarse.
2. Precalentar el Reactor HANNA HI 839800 a 150°C. No usar horno o microondas, las muestras se pueden filtrar y generar una atmósfera corrosiva y posiblemente explosiva.
3. Remover la tapa de dos viales de reactivos.
4. Añada exactamente 0.2 mL de muestra a un vial (vial muestra), y 0.2 mL de agua desionizada al otro vial (vial de blanco), mientras se mantiene los viales en un ángulo de 45 grados de inclinación. Reemplace la tapa firmemente y mezcle invirtiendo cada vial un par de veces.

(Advertencia: Los viales pueden volverse muy calientes durante la mezcla, manipular con precaución).
5. Inserte los viales dentro del reactor y caliéntelos por dos horas a 150°C.
6. Al final del periodo de digestión, apague el reactor. Espere veinte minutos para que los viales se enfríen a unos 120°C.
7. Invierta cada vial varias veces mientras siguen calientes, entonces colóquelos en la gradilla de tubos de ensayo.
8. Deje que los viales en la gradilla para tubos se enfríen a temperatura ambiente. No los agite ni los invierta más, de lo contrario las muestras pueden volverse turbias.
9. Seleccione el método “Oxygen Demand, Chemical HR (COD)”

10. Coloque el adaptador de vial de DQO en el soporte de la cubeta y asegúrese de que el adaptador encaje bien dentro.
11. Coloque el vial de blanco en el soporte y empújelo completamente hacia abajo.
12. Presione la tecla “Cero”, y el instrumento ejecutará la secuencia de cero. Si esta fue satisfactoria hecha, la pantalla mostrará “-0.0-”. Ahora el medidor está a cero y listo para la medición.
13. Remueva el vial de blanco
14. Coloque el vial de muestra en el soporte y empújelo completamente hacia abajo.
15. Presione “Leer” y el instrumento realizará la lectura.
16. El Instrumento muestra directamente la concentración de demanda de oxígeno en mg/L.

Interferencias:

Las interferencias pueden ser causadas por:

- Cloruro (Cl^-) sobre los 20000 mg/L.
- Muestras con altas concentraciones de cloruro deberían ser diluidas.

Laboratorio de aguas residuales. (2010, Hanna Instruments). *HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer*.

Anexo 2 Metodología utilizada para el análisis de nitratos.

1. Seleccione el método “Nitrato”.
2. Con una pipeta, llene la cubeta con 6 ml de muestra, hasta la mitad de su altura, y vuelva a colocar la tapa.
3. Coloque la cubeta en el soporte y cierre la tapa.

4. Presione la tecla “Cero”, y el instrumento ejecutará la secuencia de cero. Si esta fue realizada satisfactoriamente, la pantalla mostrará “-0.0-”. Ahora el medidor está en cero y listo para la medición.
5. Retire la cubeta y agregue el contenido de un paquete del Reactivo HI 93728-0.
6. Vuelva a colocar la tapa e inmediatamente agite vigorosamente hacia arriba y abajo durante exactamente 10 segundos. Continúe mezclando e invirtiendo la cubeta suavemente durante 50 segundos, teniendo cuidado de no inducir burbujas de aire. El polvo no se disolverá completamente en el tiempo. El tiempo y la forma en que se agite podrían afectar sensiblemente la medición.
7. Vuelva a insertar la cubeta dentro del instrumento, con cuidado de no agitarlo.
8. Presione “Crono” (Temporizador) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva para la medición o como alternativa, espere 4 minutos 30 segundos y presione “Leer”. Cuando el cronómetro termine, el medidor realizará la lectura. El instrumento muestra despliega los resultados en mg/L de nitrato – nitrógeno.
9. Presione las flechas para acceder a las funciones de segundo nivel.
10. Presione la tecla “Chem Frm” para convertir el resultado en mg/L (NO_3^-).

Las interferencias pueden ser causadas por:

- Amoníaco y aminas, como urea y aminas alifáticas primarias.
- Cloruro por encima de 100 ppm.
- cloruro por encima de 2 ppm.

- Taponador.
- Hierro (III).
- Fuertes sustancias oxidantes y reductoras.
- El sulfuro debe estar ausente.

Laboratorio de aguas residuales. (2010, Hanna Instruments). *HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer*.

Anexo 3 Metodología utilizada para el análisis de nitritos

1. Seleccione el método “Nitrito HR”.
2. Llene la cubeta hasta la marca con 10 ml de muestra sin reaccionar y vuelva a colocar la tapa.
3. Presione la tecla “Cero”, y el instrumento ejecutará la secuencia de cero. Si esta fue realizada satisfactoriamente, la pantalla mostrará “-0.0-”. Ahora el medidor está en cero y listo para la medición.
4. Retire la cubeta.
5. Añada el contenido de un paquete de reactivo HI 93708-0. Coloque la tapa y agite suavemente hasta que esté completamente disuelto.
6. Reintroduzca la cubeta en el instrumento.
7. Presione “Crono” (Temporizador) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva para la medición o como alternativa, espere 10 minutos y presione “Leer”. Cuando el cronómetro termine, el medidor realizará la lectura. El instrumento despliega los resultados en mg/L de nitrito.
8. Presione las flechas para acceder a las funciones de segundo nivel.
9. Presione la tecla “Chem Frm” para convertir el resultado en mg/L de nitrógeno – nitrito ($\text{NO}_2^- - \text{N}$) y Nitrito Sodio (NaNO_2).

Laboratorio de aguas residuales. (2010, Hanna Instruments). *HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer*.

Anexo 4 Metodología utilizada para análisis de fosfatos

1. Seleccione el método “Phosphate LR”.
2. Enjuague, tape y agite la cubeta varias veces con una muestra sin reaccionar. Llene la cubeta con 10 ml de muestra hasta la marca y vuelva a colocar la tapa.
3. Coloque la cubeta en el soporte y cierre la tapa.
4. Presione la tecla “Cero”, y el instrumento ejecutará la secuencia de cero. Si esta fue realizada satisfactoriamente, la pantalla mostrará “-0.0-”. Ahora el medidor está en cero y listo para la medición.
5. Remueva la cubeta y añada el contenido de un sobre del reactivo HI 93713-0. Coloque la tapa y agite suavemente (por alrededor de 2 minutos) hasta que el polvo esté completamente disuelto.
6. Reinserte la cubeta en el instrumento.
7. Presione “Crono” (Temporizador) y la pantalla mostrará la cuenta regresiva para la medición o como alternativa, espere 3 minutos y presione “Leer”. Cuando el cronómetro termine, el medidor realizará la lectura. El instrumento despliega los resultados en mg/L de fosfato (PO_4^{3-}).
8. Presione las flechas para acceder a las funciones de segundo nivel.
9. Presione la tecla “Chem Frm” para convertir el resultado en mg/L de Fósforo (P) y pentóxido de fósforo (P_2O_5).

Laboratorio de aguas residuales. (2010, Hanna Instruments). *HI 83099 COD and Multiparameter Bench Photometer*.

1. Poner dentro de las botellas un volumen de muestra de acuerdo con la escala elegida, medido en una probeta graduada.
2. Introducir un imán de agitación en cada botella.
3. Llenar el depósito de álcalis de cada botella con una cantidad de absorbente de dióxido de carbono (escamas de hidróxido potásico o gránulos de cal sodada) hasta el borde sin que rebose por los agujeros de las paredes. En caso de caer algo de absorbente de la botella, lavar bien antes de verter en él otra muestra.
4. Colocar las botellas en su posición dentro del equipo de agitación.
5. Introducir el equipo de agitación dentro de un refrigerador termostático a la temperatura elegida para la medición de la DBO₅. Conectar el cable de corriente al enchufe interior y encienda el equipo con el interruptor situado en la parte frontal.
6. El equilibrio térmico entre las muestras y el equipo a la temperatura elegida se alcanza a los 20 – 30 minutos. Coloque los sensores de DBO₅ en cada botella girando y presionando. Reinicie cada sensor DBO₅ para cancelar cualquier valor almacenado, seleccione la escala más adecuada e inicie el ciclo de medición.

Laboratorio de aguas residuales. (s.f, Velp Scientifica). *Sistema D.B.O. Demanda Bioquímica de Oxígeno Equipos Velp para determinación Manométrica de la D.B.O.*

Anexo 6 Informe de resultados del análisis de laboratorio de suelos y agua realizado en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cayambe.



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
ECUADOR



SALESIANOS
DON BOSCO

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Pág. 1 de 1

Cliente: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Dirección: Av. Isabel Católica N. 23-52 y Madrid

Contacto: Ing. Renato Sánchez

Cantidad de muestras: 1

Fecha de ingreso: Febrero 18, 2019

Característica de la Muestra: Agua residual

Tel/Cel: (+593) 2 396 2000

E-mail: sanchez@ups.edu.ec

N° de Informe: 19-81

Fecha Emisión: Febrero 27, 2019

Fecha de Análisis: Febrero 18 al 22, 2019

INFORME DE RESULTADOS

Identificación de Usuario	Unidad	MUESTRA CONTROL PTAR INGRESO LAGUNA	MÉTODO DE VALORACIÓN
Código de laboratorio Parámetro		LS419-95	
Demanda Biológica de Oxígeno	mg/L	953.00	DM 5210-B
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1230.00	DM 5220-D
Coliformes Totales	ufc/100ml	4.1x10 ⁶	DM 9222-D
Coliformes fecales	ufc/100ml	2.6x10 ⁶	

DATOS ADICIONALES:
 1) pH: unidades; mg/L: miligramos por litro

2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater: 22nd Edition, 2012 - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION "APHA"

Observaciones:
 Los resultados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el CLIENTE.



Ing. Renato Sánchez
Técnico de Suelos y Agua



Químico de Alimentos
Responsable de Laboratorio



LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

Anexo 7 Toma de muestra de agua residual en la parroquia San José de Ayora





Anexo 8 Realización del análisis SEV, en campo la parroquia San José de Ayora





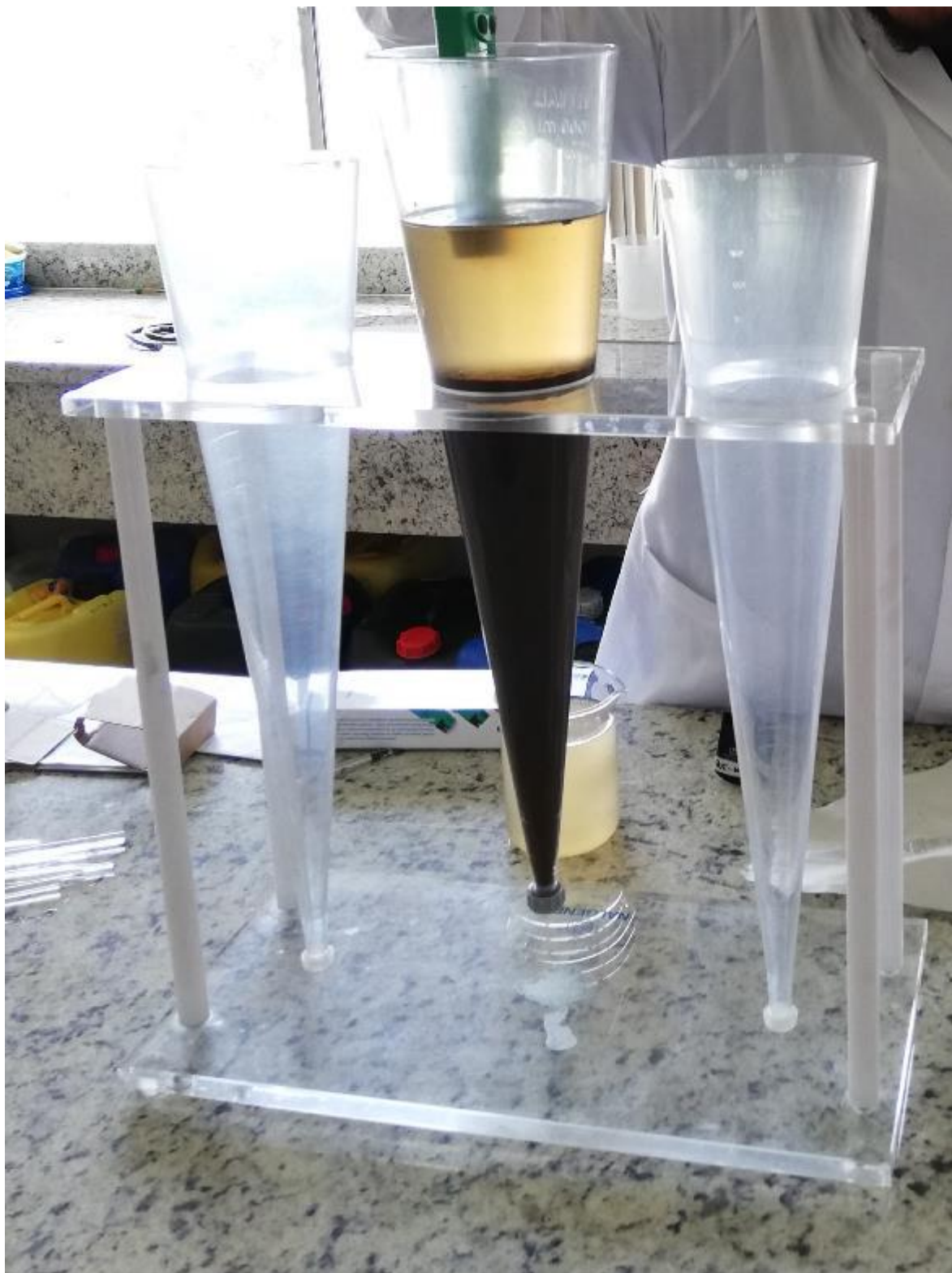


Anexo 9 Análisis de las muestras de agua residual en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito





















Anexo 10 Planos de dimensionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, para la parroquia San José de Ayora.